



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut

**Kristi Ruul**

**TRIMBLE CX LASERSKANNERI EFEKTIIVSUSE JA  
TÄPSUSE ANALÜÜS**

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY AND ACCURACY OF THE  
TRIMBLE CX LASER SCANNER

Bakalaureuseastme uurimustöö  
Geodeesia ja maakorralduse õppekava

Juhendaja: lektor Kristina Türk

Kaasjuhendaja: dotsent Harli Jürgenson

Tartu 2019

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		<b>Bakalaureusetöö lühikokkuvõte</b>	
Autor: Kristi Ruul		Õppekava: Geodeesia ja maakoraldus	
Pealkiri: Trimble CX laserskanneri efektiivsuse ja täpsuse analüüs			
Lehekülgi: 54	Jooniseid: 28	Tabeleid: 3	Lisasid: 6
<p>Õppetool: Geomaatika</p> <p>ETIS-e teadusvaldkond: 4. Loodusteadused ja tehnika (geodeesia)</p> <p>CERC S-i kood: P515 Geodeesia</p> <p>Juhendaja(d): lektor Kristina Türk, dotsent Harli Jürgenson</p> <p>Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu 2019</p>			
<p>Eesti Maaülikooli geomaatika õppetool soetas 2018. aastal kasutatud Trimble CX laserskanneri. Antud mõõdistusseade vajas töökorda seadmist ning tööprotsessi kirjeldamist. Valmendamist vajas skanneri toitesüsteem, juhttarkvara, salvestusmeedia ning väliarvuti. Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks on välja selgitada, milline on Trimble CX skanneri kõige efektiivsem meetod mõõtmiste läbi viimiseks. Lisaks analüüsitakse seadme kasutus tõhusust ning täpsust välitöödel. Töö hüpoteesiks püstitati, et Trimble CX skanner on efektiivne ja piisavalt täpne tänapäevases kontekstis.</p> <p>Trimble CX töökorda seadmiseks sobiliku salvestusmeedia ja väliarvuti seadete valiku leidmiseks kasutati katse-eksitus meetodit. Instrumenti täpsuse hindamiseks teostati 19. märtsil 2019. aastal Tartu Kaarsillal laserskaneerimine. Trimble CX seadmega mõõdistatud andmeid võrreldi laserkaugusmõõtjaga mõõdetud tulemustega.</p> <p>Leiti, et kõige efektiivsem on mõõtmisi läbi viia juhtpuldi kaudu, kuna ei esine ühendus probleeme nagu väliarvuti ja skanneri vahel. Lisaks ei kulu lisaaega välitöödel andmeteformaadi ümbersalvestamiseks. Näiteks väliarvuti kaudu juhitud 7 minutine skanneering kestab umbes 17 minutit, kuna loodud failiformaati salvestatakse ümber. Töös selgitati välja et, Trimble CX on piisavalt täpne tänapäevases kontekstis, kuid mitte piisavalt tõhus. Skanneriga skaneeritud mõõtmete võrdlusel kaugusmõõturiga selgus, et mõõtmistäpsus üksikust punktipilvest jääb 5 mm piiresse ning registreeritud punktipilve suhtes kuni 7 mm. Trimble CX seadme võimekuse nüüdisaegses keskkonnas mitte sobivust tuginedes teadmisel et, skanneri kulub soojendamiseks välitingimustes 10 kuni 20 minutit iga enne mõõtmist mõõtmise järel. Samuti juhtpult ja akud on skanneri välised, mis teeb töötlemisprotsessi väga kohmakaks ja tülikaks.</p>			
Märksõnad: terrestriline laserskaneerimine, punktipilv, Tartu Kaarsild			



Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		<b>Abstract of Bachelor's Thesis</b>	
Author: Kristi Ruul		Speciality: Land Surveying and Land	
Title: Analysis of the efficiency and accuracy of the Trimble CX laser scanner			
Pages: 54	Figures: 28	Tables: 3	Appendixes: 6
Department: Geomatics Field of research: 4. Natural Sciences and Engineering (CERC S code): P515 Geodesy Supervisors: Lecturer Kristina Türk, associate professor Harli Jürgenson Place and date: Tartu 2019			
<p>The purpose of this Bachelor's thesis is to find the most effective method of performing measurements with Trimble CX scanner. In addition, efficiency and accuracy of fieldwork use are analyzed. Hypothesis is that Trimble CX scanner is effective and accurate enough in today's context. Test-and-error method was used to find the appropriate recording media, control computer and setup. To find out accuracy of the instrument, laser scanning was carried out on on Tartu Kaarsild at March 19, 2019. Measurements of Trimble CX were compared to the measurements that were taken with a laser rangefinder. Most effective way to perform measurements is through a control panel, because there are no connection problems between an external computer and a scanner. In addition, no extra time is spent on data format conversion to save. For example 7 minutes scanning with field computer takes about 17 minutes because the file is converted then re-saved. According to measurements Trimble CX is accurate enough in today's context, but not efficient enough. Comparison of the scanner scaled dimensions with a distance meter, revealed that the measurement accuracy of a single point cloud is within 5 mm. Since scanner needs to warm up from 10 to 20 minutes after every measurement, then Trimble CX is not efficient enough for fieldwork compared to state of the art devices. Also, the control panel and batteries are external to the scanner, making the measuring process clumsy and cumbersome.</p>			
Keywords: Terrestrial laser scanning, point cloud, Tartukaarsild			

# SISUKORD

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	7
1.1 Terrestrilise laserskaneerimine .....	7
1.2 Skanneri tööpõhimõtte .....	7
1.3 Maapealse laserskaneerimise tehnoloogia areng .....	9
1.4 Eesti Maaülikooli Trimble CX ja Tallinna Tehnikaülikooli skanneri Leica ScanStation C10 võrdlus .....	12
1.5 Trimble CX skanneri võrdlus laserskaneerimis tahhümeetritega .....	14
1.6 Trimble CX skanneri juhendmaterjalid .....	15
1.7 Terrestrilise laserskaneerimise kasutusvaldkonnad .....	15
1.8 Laseskaneerimise protsess ja punktipilve andmetöötlus.....	16
1.9 Varasemad tööd sildade laserskaneerimisel .....	20
1.9.1 Ülevaade mujal maailmas.....	20
1.9.2 Ülevaade Eestis.....	21
2.1 Metoodika ja seadmete valik .....	23
2.2 Leica Laserkaugusmõõtja DISTO D2 BT .....	23
2.3 Trimble CX 3D ülevaade ja algsed probleemid.....	24
2.4 Skanneri toitesüsteemi osad ja parandamine .....	24
2.5 Salvestusmeedia ja tarkvara valik.....	25
2.6 Skanneerimise juhtimine erinevate tarkvaradega .....	26
2.6.1 Skanneri tööprotsessi juhtimine tarkvaraga Trimble Access Scanning väliarvutis Trimble Yuma 1 .....	26
2.6.2 Skanneri tööprotsessi juhtimine otse mälu pulgalt .....	28
2.7 Kasutatud andmevormaadid ja ühilduvuse probleemid.....	30
2.8 Skanneri andmete töötlus tarkvaraga Trimble RealWorks 10.0 .....	30
2.9 Punktipilvede kokkuliitmise (registreerimise) punktipilve põhiselt.....	30
2.10 Testmõõtmised.....	32
2.11 Tartu kaarsilla teostusmöödistamine .....	34
2.12 Teostusmöödistamise läbi viimine.....	35
2.13 Andmete puhastamine ning registreerimine .....	36
3 TULEMUSED JA ARUTELU.....	37
3.1 Tartu kaarsilla registreeritud skanneeringu täpsuse hindamine laserkaugusmõõturiga .....	37
3.2 Tartu kaarsilla skanneeringu võrdlus projektiga.....	38

3.3	Tehnilised märkused ja järeldused Trimble CX skanneri kohta.....	39
3.4	Arutelu .....	40
VIIDATUD KIRJANDUS.....		43
LISAD.....		46
Lisa 1. Trimble CX skanneri spetsifikatsioon.....		47
Lisa 2. Trimble Yuma väliarvuti spetsifikatsioon .....		48
Lisa 3. Trimble CX juhtimine mälupulgalt .....		49
Lisa 4 Kaarsilla külgyaade.....		52
Lisa 5 Kaarsilla ristlõiged .....		53
Lihtlitsents .....		54

# SISSEJUHATUS

Eesti Maaülikooli geomaatika õppetool soetas 2018. aastal kasutatud Trimble CX laserskanneri, mis polnud täielikult töökorras ning puudus piisav ülevaade, kuidas viia läbi mõõdistamisi. Samuti pole varasemalt geomaatika osakonnal detailsemat kogemust kõrgtäpse maaapealase laserskanneriga töötamiseks, mistõttu vajab Trimble CX seade täpsemat uurimist. Instrument ise võimaldab mõõta kõrge resolutsiooniga ja kiiresti (54 000 punktis sekundis), mis on osalt võrreldav tänapäevaste skanneritega. Puuduseks oli väline juhtmega juhtpult ja väliarvuti.

Töö eesmärgiks on teha kindlaks, milline oleks kõige efektiivsem meetod Trimble CX skanneriga töötamiseks ja anda hinnang seadmele just tänapäevases võtmes. Skanner ise pärineb aastast 2011 seega on 8 aastat vana. Samas toetab instrument siiski ka skaneerimist otse mälu pulgalt, mille kohta puudus peaaegu igasugune teave. Eriti segaseks tegi olukorra ka asjaolu, et seadmega ei tulnud kaasa korralikku juhendit. Puudus ka ülevaade, mis tarkvara skanner kasutab. Internetis on Trimble CX seadme kohta avaldatud võrdlemisi vähe teavet, eriti seda osa, mis käsitleks CX laserskanneri eripärasid ning tööprotsessi. Antud bakalaureusetöö uurimisülesanneteks on Trimble CX laserskanneri töökorda seadmine ning instrumendi skaneerimise protsessi kirjeldamine Kreutswaldi 5 siseruumide ja lisaks täpsuse analüüs Tartu kaarsilla näitel.

Lõputöö jaguneb kahte ossa teoreetiliseks ning empiiriliseks. Teoreetiline osa antakse ülevaade laserskanneri põhimõtetest, arengust ning kasutusvaldkondadest nii Eestis kui ka mujal maailmas. Empiirilises osas tutvustatakse Trimble CX skanneri töö protsessi eeltööst kuni punkt pilve puhastamiseni välja. Töös uuritakse Trimble CX skanneri juhtimise võimalusi, mida saame kasutada tööprotsessi kiirendamiseks. Eraldi on kirjeldatud väliarvuti tarkvara Trimble Access Scanning moodulit, USB skriptfailide meetodit ja Trimble RealWorks tarkvara, mida on töös kasutatud punkt pilve registreerimiseks ja puhastamiseks. Töö hüpoteesiks on seatud, et Trimble CX skanner on siiski efektiivne ja täpne tänapäevases kontekstis.

Sooviksin avaldada oma tänu juhendajatele Kristina Türgi ning Harli Jürgensonile lõputöö valmimise protsessi abistamise, kannatlikkuse, ning meeldiva koostöö eest, samuti Aive Liibuskit näpunäidete ning Natalja Liba oma õppematerjali lahke jagamise eest.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1. Terrestrilise laserskaneerimine

Terrestriline laserskaneerimine (TLS) on geodeetiline mõõdistusviis, kus skaneeritakse väikese ajakuluga maapind ja seda ümbritsev keskkond. Laserskaneerimise tehnoloogia on arenenud hüppelise kiirusega. Kui 10 aastat tagasi skaneerisid skannerid umbes mõni tuhat punkti sekundis, siis tänapäeva skannerid suudavad mõõta koguni üle ühe miljon punkti sekundis. Mõõdistatud punktid omistavad endale asukoha, mida kirjeldatakse X, Y ning Z koordinaatidega. Skaneeritud punktidest moodustub punktipilv, millest võib modelleerida mudeli või joonistada 2D plaan. TLS jaguneb tehnoloogia poolest staatiliseks ja dünaamiliseks (Roopalu, 2018:16). Staatiline ehk paigal seisev mõõtmismeetod, kus laserskanner ei liigu paigast mõõdistamise ajal. Antud mõõtmismeetod on suure täpsusega ning kõrge resolutsiooniga. Dünaamiline ehk liikuv, kus laserskaneerimise ajal on instrument asetatud liikuvale platvormile näiteks sõitva auto peale. Dünaamiline laserskaneerimise puuduseks on see et, instrument peab olema koguaeg mõõtmiste ajal ühenduses GPS positsioneerimise seadmega. Näiteks linnas majade vahel võib GPS signaali levi ära kaduda ning mõõtmised katkevad seni kauaks kui GPS signaal tagasi tuleb (Roopalu, 2018:16-17).

## 1.2 Skanneri tööpõhimõtte

TLS võib jagada tööpõhimõtte järgi kaheks faasnihke- ning valgusskanneriks (valgusskannerid nimetakse ka laserimpulss-skanneriks). Laserimpulss-skanner määrab kiire suuna ning seejärel arvutab punkti kauguse objektist (joonis 1.). Distanti määramiseks (valem 1) skanner mõõdab aega, mis kulub kiirel jõudmiseks objektini ning tagasi peegeldamiseks. Tagasi kulunud aeg seejärel korrutatakse valguskiirusega. Valguskiiruse liikumine ei toimu vaakumis, mistõttu tuleb arvestada ka atmosfääris tulevad mõjusid. Läbitud vahemaa lõpuks jagatakse kahega, kuna kiir liigub nii edasi kui tagasi (Mill et al, 2011: 81). Vahemaa skannerist objektini leidmiseks kasutakse valemit (Mäeots, 2018: 8):

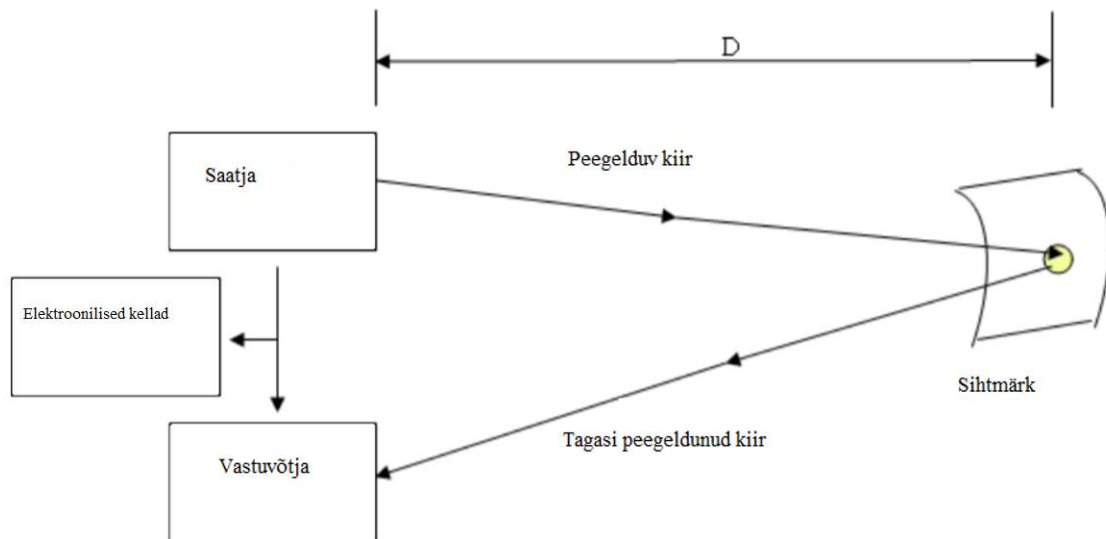
$$D = \frac{c \times t}{2 \times r}, \quad (1)$$

kus  $D$  - läbitud vahemaa;

c- valgus levimiskiirus vaakumis (  $c = 299792458$  m/s);

t-kulund aeg kiire liikumiseks;

r-keskkonna parand ( $r \approx 1,00025$ ).



**Joonis 1.** valgusskanneri tööpõhimõte (Quintero et al, 2008: 22).

Faasinihe skanner saadab välja valguskiire, mis peegeldub skannerisse tagasi (joonis 2). Aga teatud osa valgust hajub kiirest distant si läbides, mille tulemusel on esialgne ning tagasi peegeldunud signaalid ei ühti. Tekib kiirte faaside vahe ehk faasinihe, mille järgi skanner arvutab välja distant si (Mill et al, 2011: 81). Vahemaad arvutatakse järgnevast (valem 2) valemis (Mäeots, 2018: 9):

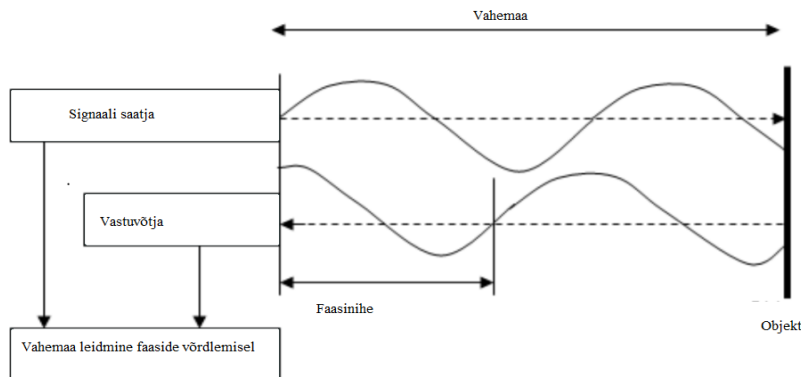
$$D = \frac{n \times \lambda + d}{2}, \quad (2)$$

kus  $n$  – lainepikkuste arv laserkiire edasi-tagasi liikumisel;

$\lambda$  – lainepikkus;



$d$  – faasinihke väärtus.



**Joonis 2.** Faasinihke põhimõte (Quintero et al, 2008: 24).

Skannerid erinevad eelkõige kiiruse ning täpsuse poolest. Valgusskannerid mõõdavad ühe sekundi jooksul kuni 50 000 punkti. Selle aja jooksul mõõdab faasnihe skanner kuni 20 korda rohkem punkte. Faasnihe skannerid on lisaks kiirusele ka täpsemad, kuna aja määramine on tehniliselt lihtsam kui valgusskanneril. Selle eest laserimpulss-skanneril on suur tööulatus, kus laserimpulss-skanner võimeline mõõtma 1 km kaugusele (Mill et al, 2011: 81).

### 1.3 Maapealse laserskaneerimise tehnoloogia areng

Sõna laser tuleneb inglisekeelsest akronüümist *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, mis tähendab otsetõlkes valguse võimendamist stimuleeritud kiirguse abil. Seega on laser seade, mis koondab valguse kokku kiirtekimbuks. Kiirtekimbus on kiired sama lainepikkusega, võnkuvad samas perioodis ning on üksteise suhtes paralleelselt (Reidla et al, 2004: 119). 1917. aastal pani Albert Einstein aluse lainepikkuse teooriale, mis oli alustalaks laseri leiutamiseks. Esimese laser leiutati Theodore Maimani poolt (Parker, 2007). Laseri leiutamine andis tõuke laserskaneerimise arengule. Esimene 3D skaneerimise tehnoloogia loodi 60-ndatel aastatel, kui kasutati skaneerimisel valgust, projektorit ning kaameraid. Skaneeri üheks puuduseks oli et, seadmed ei jäävustanud objekti tervikuna ning mõõtmistele kulus palju aega. Läks aega umbes 25 aastat edasi, kui 1985. aastal asendati skannerid välja seadmetega,

mis kasutasid valget valgust, varje ja laserit, mis võimaldas objekti täielikult jäädvustada (Lerch et al, 2007: 3-4; Ebrahim, 2011: 4-8).

Skannerid hakkasid hüppeliselt arenema 1997. aastal, kui esimesed instrumendid jõudsid tavakasutajani. Eritakse peale turule tulemist nelja erinevat laserskannerite põlvkonda. Esimese põlvkonna skannereid tõid turule 90-ndate lõpus RIEGL ning CYRAX (Rudolf, 2011: 2). RIEGL on Austria firma, mis on tegutsenud juba üle 40 aasta laserkaugusmõõturite ning skannerite tootmisega (RIEGL Laser Measurement Systems, 2019). CYRAX seevastu oli USA 1993. aastal loodud firma, mille hiljem Leica ära ostis. Tänapäeval töötab CYRAX Leica Geosystems'i nime all. RIEGL tuli 90-ndate lõpus turule LMS –Z210 skanneriga (joonis 3), mis oli esimene skanner tavakasutajale. 1998. aastal lisandus turule CYRAX, kes pakkus LMS –Z210 skannerile konkurentsi 2200 3D laserskanneriga (Shan, Toth 2009). Esimese põlvkonna skannerid olid välimuselt suured kobakad. Toide ning mälu olid skanneri välised. Esimese põlvkonna instrumente iseloomustas väike mõõtmise sagedus ning ulatus. Mõõtmisvahemaa ulatus 50 meetrist kuni 200 meetrini. Skannerid olid ülesehitatud impulsil töötaval tööpõhimõttel. Skannerid olid suunatud kasutamiseks tsiviilehituses ning topograafilisteks mõõdistamiseks (Daslhub, 2019: 1-2; Shan, Toth 2009).

Järgmisena tulid teise põlvkonna skannerid (2002-2007), mis sarnanesid välimuse poolest esimese põlvkonnaga. Mälu ja toide asusid endiselt väljaspool skannerit. Aga skannerid muutusid kiiremaks ja osad skannerid kasutasid mõõtmiseks faasnihke põhimõtet (Rudolf, 2011: 4). Paranes ka oluliselt mõõtetäpsus võrreldes esimese põlvkonna skanneritega. Kui esimese põlvkonna instrumendi RIEGL LMS –Z210 ühe punkti mõõtmistäpsus jääb  $\pm 25$  mm juurde, siis CYRAX 2500 täpsus on  $\pm 6$  mm 50 meetri peale. Skannerid võib kasutada tsiviilehituses järelvalve teostamiseks. Näiteks vaadata, kas esineb hälbeid projektist. Samuti sai teha erinevaid topograafilisi ja ehitusgeoloogilisi uuringuid (Daslhub, 2019: 1-2 ja Cyra Technologies, 2019: 1-2).

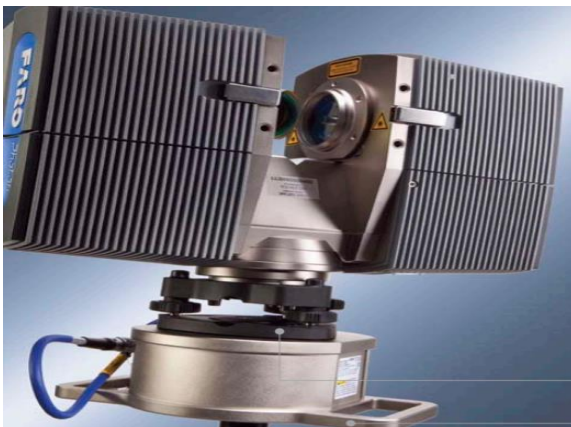


**Joonis 3.** RIEGL LMS –Z210 esimese-põlvkonna skanner (Daslhub, 2019: 1).



**Joonis 4.** CYRACX 2500 teise põlvkonna skanner (Cyra Technologies, 2019: 1).

Kolmanda põlvkonna skannerid hakati tootma alates 2007. aastast kuni 2009 aasta lõpuni. Uuemaid skannereid hakkati tootma juba ühes tükis ehk toide ning mälu on instrumendi sees. Skannerid suudavad mõõta suuremas ulatuses ning palju kiiremini punkte kui eelnevad põlvkonnad (Rudolf, 2011: 4). Näiteks Skanner FARO Laser Scanner Photon 120/20 (joonis 5) oli suuteline mõõtma 976 punkti sekundis kui CYRACX 2500 tuhat punkti sekundis (Dirdim, 2019: 1-2 ja Cyra Technologies, 2019: 1-2). Üha enam hakati skanneri digitaalseid pilte kombineerima punkt pilvega. 2009. aastal tulid neljanda põlvkonna skannerid (joonis 6). Enam ei toodetud skannereid mitme tükis. Kõik selle põlvkonna skannerid kasutavad digitaalseid pilte, mis kombineeritakse punkt pilvega (Rudolf, 2011: 4).



**Joonis 5.** FARO Laser Scanner Photon 120/20 kolmanda põlvkonna skanner (Dirdim, 2019: 1).



**Joonis 6.** Leica RTC360 neljanda põlvkonna skanner (Leica Geosystems, 2019: 1).

Võrreldes kolmanda põlvkonna skanneritega on viimase põlvkonna instrumentide mõõtmisulatus suurenenud ning ka paranenud mõõtmis kiirus. Leica RTC360 on võimeline

mõõtma 2 miljonit punkti sekundis kuni 130 meetrini kui Photon 120/20 sama aja jooksul 2000 punkti vähem skaneerib. Samuti on neljanda põlvkonna instrumendid palju mugavamad ning kompaktsemad (Leica Geosystems, 2019: 2; Dirdim, 2019: 2).

#### **1.4 Eesti Maaülikooli Trimble CX ja Tallinna Tehnikaülikooli skanneri Leica ScanStation C10 võrdlus**

Nii TalTech kui ka EMÜ on maapealsed laserskannerid. Tegemist on kahe erineva ettevõtte seadmetega, millel mõlemal on oma ajalugu. TalTech skanner (joonis 8) soetati 2012. aastal Eesti Keskkonnaobservatooriumi raames. Seade tuli tootmisse 2009. aastal olles küllaltki uudne seoses just oma kompaktsuse poolest. EMÜ skanner on soetatud kasutatuna mitu aastat hiljem. Esmapilgul tunduvad instrumendid olevat üsnagi erinevad, kuid lähemalt uurides on mõõtmisseadmetel palju ühist (tabel 1). ScanStation C10 oli esimene laserskanner Eesti kõrgkoolis geodeesia valdkonnas. Seadet haldab TalTech, kuid kasutusõigus on ka teistel kõrgkoolidel. Kuigi mõlemad skannerid tulid tootmisse samal aastal, paigutuvad nad eri põlvkondadesse seoses funktsionaalsusega. ScanStation on 2009. aastal toodetud laserimpulssskanner, mis kuulub neljanda põlvkonna skannerite hulka, kuna toide ning mälu asuvad instrumendi sees. Lisaks pildistab instrument skaneerimise ajal pilte, mille abil on võimalik punkt pilv tähistega abil kokku registreerida ja kuvada (RBG) õigete värvidega punkt pilv andmetöötlusel.

Trimble CX 3D (joonis 7) on 2011. aastal Trimble Navigation Limited poolt toodetud skanneri mudel. Trimble'i CX kasutab mõõtmisel WAVEPULSE tehnoloogiat, kus skanneril on kombineeritud faasinihe ning laserimpulss põhimõte. Faasnihe tagab täpse mõõtmistulemuse lähedal mõõtes ning madalama müratasemega punkt pilve. Impulss tehnoloogia abil on võimalik mõõta täpselt ka kaugemal distant sil. Trimble CX skanner kuulub kolmanda põlvkonna skannerite hulka, kuna skanneril pole sisekraani ja siseakut. Trimble CX seadmega on võimalik koguda 54 000 punkti sekundis, kus mõõtmisvahemik ulatub 0.5 meetrist kuni 80 meetrini. Skanneri ScanStation C10 kogutakse 50 000 punkti ühes sekundis, kuid mõõtmisulatus on palju suurem. Trimble CX 3D skanneri ühe punkti täpsus asendis on 7.3 mm ning kauguse täpsus ühel punktil on 2 mm 50 meetri peale. Leica ScanStation C10 poolt skaneeritud ühe punkti asukoha täpsus 50 meetri peal on 6 mm ning 4 mm kauguse mõõtmisel. Kuigi kauguse mõõtmise täpsus on trimble skanneril poole parem, jääb lõplik asukoha täpsus 1,3 mm

väiksemaks kui Leica skanneril. See on muidugi tingitud asjaolust, et nurga mõõtmine täpsus on erinev. Trimble CX skanneril on ühe nurga mõõtmise täpsus 50 meetri peale pool väiksem kui ScanStation C10-l.



**Joonis 7.** Trimble CX skanner  
(Trimble Navigation Limited, 2009: 1) .



**Joonis 8.** ScanStation C10  
(Leica Geosystems AG, 2011: 1).

Mõlemad skannerid teostavad mõõdistamisi 3R klassi laseriga. Laserkiirt võiks hoiduda silma sattumist, kuna võib halvendada nägemist. Tavaolukordades, kui 3R laser satub silma, ei pea kartma nägemise hägustamist, kuna praktikas pole kahjustusi esinenud (tööelu, 2019). Töötemperatuuriks jääb mõlema skanneril 0°C kuni 40 °C, mistõttu väljas miinuskraadidega skanneriga ei tohiks. Skanneril Trimble CX on mõõteväli vertikaaltelje ümber 30° laiem, mistõttu on mõõtmata jääv ala skanneri all väiksem. Mõlemad skannerid on küllaltki rasked, kaaluvad üle 10 kg.

**Tabel 1.** Leica ScanStation C10. ja Trimble CX tehniliste andmete võrdlus (Trimble Navigation Limited, 2010: 1-2; Trimble, 2009: 1-2; Leica Geosystems AG, 2011: 2)

Skanneri nimi	Leica ScanStation C10.	Trimble CX
Skanneri tüüp	Laserimpulssskanner	Kombineeritud laserimpulss- ja faasnikhe
Üksik punkti mõõtmise täpsus 50 meetri peal	Asukoht 6 mm Kaugus 4 mm	Asukoht 7.3 mm Kaugus 2 mm
Nurgamõõdu täpsus horisontaalist/vertikaalist	12"/12"	15"/25"
Maksimaalne mõõtmise kiirus	50 000 punkti/sekundis	54 000 punkti/sekundis
Mõõtmiskaugus	0,1-300 meetrit	0.5-80 m
Laseri klass	3R (IEC 60825-1)	3R (IEC 60825-1)
Vaateväli ulatus horisontaalne/vertikaalne	360° / 270°	360° / 300°
Töö temperatuur	0 °C kuni 40 °C	0 °C kuni 40 °C
Kaal	11,8 kg	13 kg
Aku kestvus (2 patareid)	Sisemine>3,5 tundi; väline:> 6 tundi (toa temp.)	6-8 tundi

Mõlemal skanneril on omad tugevused ning nõrkused. Ei saa ütelda, et üks instrument on parem teisest. Pigem tuleks valida vastavalt eesmärgile sobiv seade. Kui arvesse võtta asjaolu, et Trimble skanner salvestab mälupulgale, siis jääb suurimaks erinevuseks väliaku kasutamine. Siiski tuleb mainida asjaolu, et Leica skanneri tööaeg ühe akuga on küllaltki lühike, mis tingib, kas aku vahetamise või väliaku kasutamise.

## 1.5 Trimble CX skanneri võrdlus laserskaneerimis tahhümeetritega

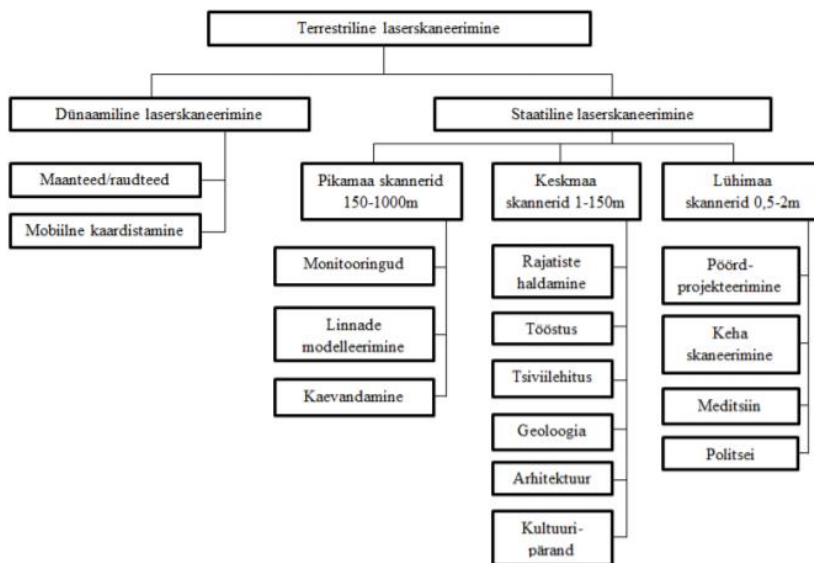
Trimble SX10 on 2016. aasta skaneeriv tahhümeeter skaneerib 26 600 punkti ühes sekundis kuni 600 meetri ulatuses. Täpsus 50 meetri peal jääb kuskil 1,5 mm juurde (Geosoft, 2016). Leica Nova MS60 instrument 2015. aasta maailm esimene iseõppiv skaneeriv elektrontahhümeeter, mis suudab kohaneda keskkonnaga näiteks udu või vihmaga. Instrument skaneerib 1 000 punkti sekundis 300 meetri peale tagades millimeetrilise skaneerimis täpsuse (Leica Geosystems AG, 2015). Trimble CX skanner suudab mõõdistada ühes sekundis rohkem, kui kaks skaneerivat tahhümeerit kokku (54 000 punkti/sekundis). Võrreldes täpsuse (7.3 mm asukoha ning kaugusel 2 mm) või ulatusega (0.5 kuni 80 meetrini) jääb Trimble CX seade kõvasti alla. (Trimble Navigation Limited, 2009: 2).

## **1.6 Trimble CX skanneri juhendmaterjalid**

Seadmega oli kaasas Trimble poolt koostatud lühike ülevaatlik juhend „CX Scanner and Trimble CX Control Software Quick Start Guide“, mis selgitas kokkuseadmisel Trimble seadme juhtivust juhtpuldilt ja väliarvutilt. Instruktsioon kirjeldab töö protsessi aga polnud piisav mõõtmiste läbiviimiseks juhtpuldilt, kuna polnud sõnagi skriptist, mis on juhtpuldilt skaneerimisel aluseks. Internetis leidsin juhendeid ning seadme kirjeldusi, mis annavad ülevaade instrumendist ja tema osade spetsifikatsioonist. Aga antud info polnud piisav, kuna instrumenti kohta jäi veel küsimusi õhku. Samuti märkisin ära et, polnud mitte ühtegi uuringut antud seadme kohta või tööd, mis on läbi viidud Trimble CX skanneriga. Lisateavet küsiti otse Trimble tehniliselt toelt, kuid jagati informatsiooni, mis oli kättesaadav internetis. Peale sügavamat otsingut leiti interneti avarusest üles kaua otsitud skript (lisa 3).

## **1.7 Terrestrilise laserskaneerimise kasutusvaldkonnad**

Laserskannerid kasutatakse väga erinevates elu valdkondades (joonis 9) nii meditsiinis, autotööstuses, kriminalistikas, tsiviilehituses jne. Terrestrilise laserskaneerimine on tänapäeval korraldus rohkem levima hakanud, kuna on kasvanud usaldus andmete vastu ning seadmed on rohkemate inimestele kättesaadavad. TLS saab kasutada väga erinevates uurimistöös näiteks sõidutee kvaliteedi kontrollimiseks, sildade vajumise uurimisel või liivakarjääris mahtude arvutamisel. Skaneeritud andmeid saadakse suures koguses väga lihtsalt ning kiirelt. Eriti kasutatakse maapealset laserskannerit tsiviilehituses raskete situatsiooni jäädvustamisel. Skanneritega saab mõõdistada kohtades, kus inimesed ei pruugi ligi pääseda näiteks oma ohutuse tõttu.



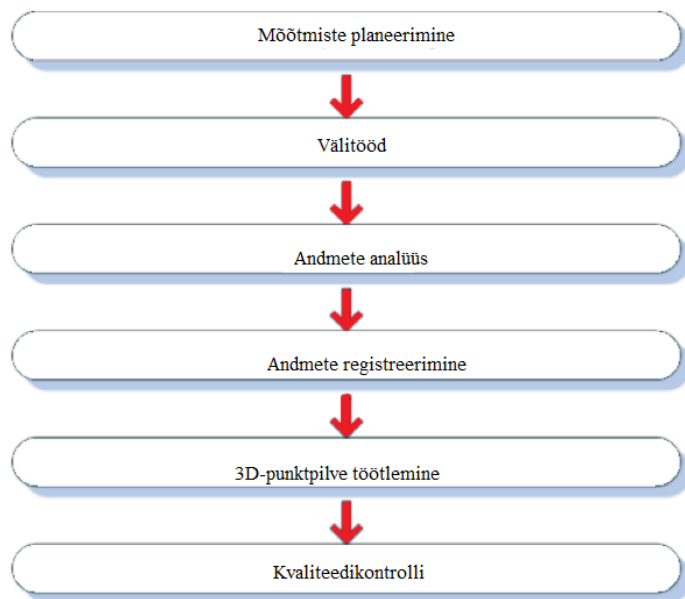
**Joonis 9.** Terrestriline laserskaneerimise punktipilve rakendused (Quintero et al, 2008: 13).

Eesti oludes on suurem osa skannerimis tööstest seotud siseruumide mõõdistamisega ehk inventariseerimises. Inventariseerimise käigus mõõdistakse hoone siseuumid, mille tulemusel valmib üldjuhul 2D plaan. Samuti kogub populaarsust teede profileerimine.

## 1.8 Laseskaneerimise protsess ja punktipilve andmetöötlus

Maapinnaline laserskaneerimine ning punktipilve andmetöötlus pole nii lihtne kui esmapilgul tundub. TLS ning punktipilve andmete töötlemine on protsess, mis koosneb mitmes etapist (joonis 10). Kui kõik etapid on läbitud, siis lõpptulemuseks võib olla nii 3D mudel, 2D plaan, töötlemata punktipilv või hoopis hoone deformatsioonide uuring.





**Joonis 10.** Terrestrilise laserskaneerimise protsessi etapid (Quintero et al, 2008: 36).

Enne skanneriga välja minemist tuleks mõõdistus planeerida. Selleks peab panema paika eesmärgid. Sihtideks nagu eelnevalt mainitud võivad olla punktipilv, 2D joonised või 3D mudel. Kui eesmärgid välja selgitatud tuleb uuritava objekti analüüsida. Läbi mängida mõttes objekti skaneerimine ning panna paika skaneeri jaamad. Oluline on vaadata et, ette ei tuleks takistusi skanneri ning mõõdetava objekti vahele. Näiteks võivad jäävad skanneri ette puud või autod, mille tulemusel laserkiir ei jõua skaneeritava objektini. Skanneri seisukohtade valikul peaks arvestama sellega, mida suurem on objekti suhtes langemisnurk seda tõenäolisem on, et mõõdistuse täpsuse viga tuleb kõrgem. Viia mõõtvad võimalikult väikseks peaks instrumenti koha nii valima, et, skanneri laserkiir oleks suunatud objektile võimalikult risti. Samuti püstitada skanner võimalikult tasapinnalise alusele. Instrumendi asukoha valikul peaks lisaks arvestama skanneri omadustega ning spetsifikatsiooniga. Näiteks mõõdistus täpsusega, minimaalse ning maksimaalse mõõtmiskaugusega. Kui skaneerimisjaamad paigas, tuleks läbi mõelda tähiste asukohad. Tähisted tuleks igale poole võimalikult ühtlaselt hajuvalt panna. Nii X, Y kui ka Z suunas (Quintero et al, 2008: 37-38). Tähisteid kasutakse punktipilvede transformeerimiseks ühtsesse skanneri koordinaatsüsteemi, mida kutsutakse ka registreerimiseks. Tähistega punktipilvede kokku registreerimisel üheks pilveks peaks olema skanneril igas jaamas näha vähemalt neli tähist. Tähisteid on nii sfäärilisi (joonis 11) kui ka lihtsalt paberil seinakülge kleebitavaid mustvalged (joonis 12). Toas kasutakse üldjuhul paberil olevaid tähisteid, sest on

odavam ning väljas sfäärilisi, kuna saab tähiseid panna maastikule maha. Tähisted ei või liikuda kogu skaneerimise ajal paigast. Püsivalt liikumatu peavad tähisted olema, et hiljem pilve registreerimisel oleks andmete viga minimaalne. Tähiste abil saab punktipilv ka hiljem koordineerida riikliku või kohaliku võrku kasutades näiteks tahhümeetrit tähiste koordinaatide määramisel. Punktipilve registreerimist võib teha ka ilma tähisteta nn pilvest pilve registreerimist. Punktipilve kokku registreerimisel kasutakse ühisosa kattuvust. Meetod sobib kasutamiseks kui on ulatuslik ülekattuvus (Mäeots, 2018: 10-11; Quintero et al, 2008: 40-41; Aule, 2014: 41-42).



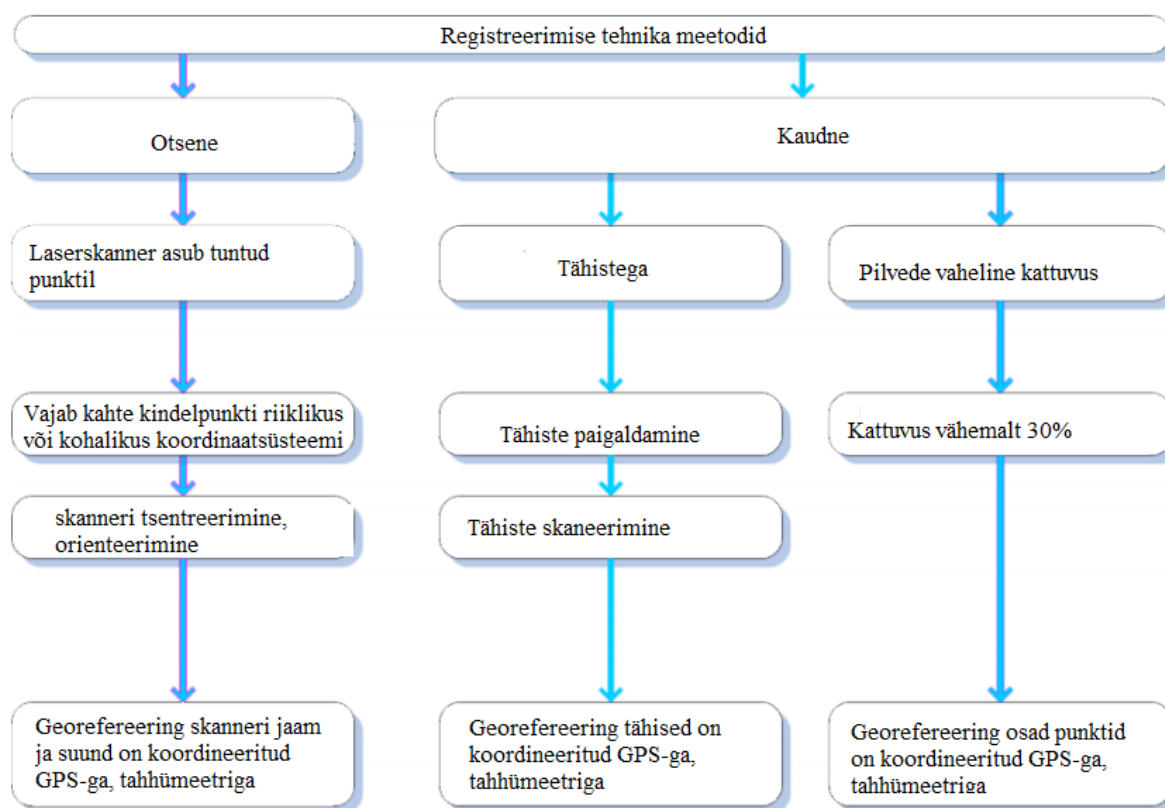
**Joonis 11.** Sfääriline tähis (Surveying, 2018).



**Joonis 12.** Kleebitav mustvalge tähis (Tiger Supplies, 2019).

Enne laserskaneerimist tuleks valida sobib resolutsioon. Resolutsioon ehk punktide lahusus on kahe mõõdetud punkti vaheline kaugus, mida kõrgem on resolutsioon valitud seda tihedam on punktipilv. Resolutsioon tuleks valida vastavalt vajadusele, kuna mida tihedam punktipilv seda kauem läheb skanneril aega mõõtmisel. Peaks mõõtmistel arvestama, mida kaugemal skaneeritud punkt asub seda väiksem on lahutusvõime ning kõrgema resolutsiooniga punktid asuvad skanneri lähedal (Aarna; Roopalu, 2016: 11). Järgmisena sammuna võib alustada laserskaneerimist. Peale laserskaneerimist algab andmete analüüs. Punktipilve võrreldakse objekti dokumentide ja plaanidega. Enne andmete töötlust visatakse ekslikult tehtud mõõtmised või suure müratasemega skaneeringud välja (Quintero et al, 2008: 48-49). Punktipilve registreerimiseks on mitu tehnilist meetodid (joonis 13). Saab registreerida punktipilv kokku otseselt või ka kaudselt. Otsese registreerimisel arvutatakse skanneri asukoht ning orientatsioon välja otse. Otse registreerimist on võimalik teha kahel erineval viisil. Esimeseks võimaluseks on skanner asetada koordineeritud punktile või vabajaamana ning suunata tuntud koordinaatide peale. Skanner vajab igas jaamas vähemalt 2 koordineeritud punkti. Teiseks võimaluseks on

GPS- vastuvõtja ühendada skanneriga. Tegemist on kõige lihtsama ning kiirema meetodiga. Kaudsel registreerimisel on võimalik kasutada nii tähiselt tähisesse kui ka punktipilve põhist registreerimist. Meetod valitakse vastavalt vajadusele (Uueküla, 2014: 19).



**Joonis 13.** Registreerimis meetodid (Quintero et al, 2008: 50).

Kui Punktipilv on kokku registreeritud oleks vaja eemaldada kõik ebavajalik. Samuti kustutada punktid, mis on peegelduste või äärmuslike keskkonna tingimust tulemusel kõrvale kaldunud oma tegelikust asukohast. Tuleks vaadata ka üle punktipilve tihedus. Liiga kõrge resolutsiooniga pilv tuleks hõrendada, kuna ei suurenaks 2D või 3D mudeli täpsust, vaid koormaks liigselt arvutit punktipilve töötlemisel (Mäeots, 2018: 12). Iga kord, kui andmeid salvestatakse tuleks juhuslikult valitud andmete elemente kontrollida. Tuleks vaadata, et skaneeritud objekti elementide pindala oleks õige, punktid oleksid ühtlaselt jaotatud, punktidel oleks õige eraldusvõimega ning poleks topelt elemente. Kõige lõpus hinnata punktipilve tervikulist (Quintero et al, 2008: 60-61).

## **1.9 Varasemad tööd sildade laserskaneerimisel**

### **1.9.1 Ülevaade mujal maailmas**

Nagu eelnevalt mainitud kasutakse TLS ka erinevate 2D kui ka 3D plaanide koostamisel. Punktipilve järgi modelleeritud mudelid või 2D plaanid kajastavad palju täpselt silla füüsilisi ja visuaalseid omadusi. Maapealset laserskaneerimist kasutakse eriti olukordades, kui joonised on kadunud või ümberehituste tõttu täpsed andmed objekti kohta puuduvad. Üha enam projekteerijad vajavad täpseid ning suure detailsusega kolmemõõtmelisi mudeleid projekteerimiseks. Samuti 3D laserskanneri mõõdetud andmetest on võimalik võrrelda projekti erinevusi tegelikkusega (Joala, 2006: 20-22).

Leidub väga erinevaid uuringuid, aruandeid ning teadusartikleid sildade maapealse laserskaneerimise kohta välismaal. Toodud välja autori jaoks põnevat tööd. Näiteks 2016. aastal avaldati Ameerika Ühendriikides asuvas Iowa riiklikus ülikoolis uuring „Maapealse laserskaneerimisel põhineva meetodiga silla struktuuri seisundi hindamine“. Eesmärgiks oli välja selgitada, TLS-ga on võimalik tuvastada pragusid automaatselt silla struktuuris. Uuringus skaneeriti Trimble TX5 faasipõhise laserskanneri silindrilise betoonist plaat, mis oli pragudega kaetud. Skaneeritud punktipilve andmeid kasutati silla seisundi hindamiseks ning pragude avastamiseks. Laserskanneritud andmed oli esitatud 3D punktipilve kujul, kus punktid on jagatud värvi ning intensiivsuse alusel. Skaneeritud andmeid analüüsiti arvuti nägemisalgoritme alusel. Logaritmide põhjal oli võimalik automaatselt hinnata punktipilve silla seisundit ning tuvastada rajatises pragusid. Aga täpsemate tulemusteni ning arvudeni pragude tuvastamisel ja kahju hindamisel jõutakse alles tulevikus (Turkan, et al, 2016: 5, 13).

Iirimaal avaldati artikkel nimega „3D maapealse laserskaneeritud tehnoloogia kasutamine silla kontrollimiseks ja hindamiseks“, kus kasutati laserskaneeritud punktipilve andmeid silla modelleerimiseks, turvalise kontrollimiseks ja seisukorra hindamiseks. Katseobjektiks oli Chetwyndi viadukt, mis on ehitatud 1851. aastal Iirimaal. Raudteesild oli mahajäetud ning tehti ettepanek rajatise taastamiseks. 2013. aasta septembris teostati Leica P20 abil viadukti 3D maapealne laserskaneerimine. Mudelit kasutati silla taastamisel usaldusväärse teabe saamiseks. Raudteesilla kohta oli vähe ehitusdokumente, mistõttu oli keeruline projekteerijal ilma silla mudelita projekteerida. Mudel andis hinnangu silla seisukorrast ning kahjustustest, mis vajasisid

parandamist. Samuti sai mudelist mõõta viduki täpseid mõõte. Teiseks katseobjektiks valiti Laune sild, mis avati 1885. aastal üle Laune jõe Killorglinis. Silla laserskaneerimine viidi läbi 2009. aasta juunis Leica Scan Station 2. Punktipilve andmetest jälgiti deformatsioone. Tavapärase teiste uuringumeetodite abil vajumiste uurimine ebaõnnestus, mistõttu Viidi läbi 3D laserskaneerimine, mis võimaldas silla vajumisi jälgida tulevikus, mis ületavad 5 mm vajumise (Ruane, 2019: 1-6).

### **1.9.2 Ülevaade Eestis**

Eestis on TLS-t sildade juures vähe uuritud ning emakeelseid teaduslike artikleid ning uuringuid praktiliselt ei eksisteeri. Alles 2014. aastal Tallinna Tehnikaülikoolis kaitses Hannes Lõhmus oma magistritööd teemal „Terrestrilise laserskaneerimise kaasamine sildade koormuskatsetuste geodeetilistel uuringutel“, kus ta uuris maapealse laserskanneriga mõõdetud punktipilve täpsust pärast modelleerimist ning lisaks veel, kas punktipilve mudelit on võimalik rakendada sildade deformatsioonide uurimisel. Antud magistritöö tulemused ilmusid 2014. aastal ka Geodeedi 44 (68) ajakirjas (Lõhmus, 2015: 32).

Kokkuvõtlikult TLS-ga määrati koormus-katsetusel sildade vertikaalsuunalised deformatsioonid ning võrreldi saadud täpsust täppisnivelleeriga, osaliselt ka tahhümeetriga ning mõõtekelladega mõõdetud tulemustega. Katseobjektideks valiti Loobu maantee-sild ning Tartu raudteeviadukt. Loobu maantee-sillal viidi läbi 14.04.2013. aastal purustav koormuskatse, kus viidi rajatisele kuni 200 tonniraskusi. Kartes silla kokku varisemise ohtu suure raskuse tõttu, skaneeriti silla kõrvalt, mille tulemusel peegeldumisnurgad laserkiirtel olid liiga suured. Tartu raudteeviaduktil viidi läbi 08.06.2013. aastal väiksema lisatava koormustega katse, mistõttu sai skaneerida ka silla alt. Raskuseks kasutati 6- teljelist diiselvedurit. Skaneeriti ning mõõdeti enne silla koormamist ja pärast. Lõpuks võrreldi maapealselt laserskaneerimise punktipilve mudelit teiste mõõtmismeetoditega. Antud Magistritöö põhjal saab öelda et, silla deformatsioonide vajumist on võimalik määrata punktipilvede modelleerimisega kuni 1 mm täpsusega. Aga ebasoodsates või äärmuslikes tingimustes võib täpsus viga olla suurem, mistõttu tuleks kasutada kontrollimiseks teisi mõõtmismeetodeid. TLS-e eeliseks on tervikus, saab silla vajumist uurida terve skaneeritud ala ulatuses. Mõõtekellad ning tahhümeeter mõõdavad punkte ühe kaupa,

mistõttu võivad osad ettearvamatud sildade vajumised peitu jääda. Lisaks tagatakse mõõdistaja ohutus, kui skaneeritakse silla kõrvalt (Lõhmus, 2015: 32-41; Lõhmus, 2014: 138-140).

## 2. MATERJAL JA METOODIKA

### 2.1 Metoodika ja seadmete valik

Uurimustöö põhiülesanne oli rakendada võimalikult efektiivselt osakonna laserskannerit Trimble CX ning anda hinnang instrumendi täpsusele. Üldine meetod on laserskaneerimine, mis põhineb nurga ning kauguse ülikiirel mõõtmisel. Lisaks on kasutatud veel teisi meetodeid täpsuse hindamiseks. Skaneerimise tulemusel saadav punktipilv on kontrollitav reaalsete välimõõtmistega, mida on lõputöös ka aktiivselt kasutatud. Punktipilvede ühendamiseks on võetud ühiseid tundmatud punktid. Kasutatud seadmeteks on kolmanda põlvkonna laserskanner Trimble CX, mille on soetanud geomaatika õppetool ning laserkaugusmõõtja Leica DISTO D2 BT, mis on laenatud ettevõttest GeoStation OÜ. Skanneri rakendamiseks on võimalik valida mitmeid erinevaid meetodeid, mille analüüsiga antud uurimustöö tegeleb, kuna mitmete tegevuste jaoks polnud otsest juhendit, on kasutatud katse-eksitus meetodit. Lahendamist vajas skanneri toitesüsteem, juhttarkvara valik, salvestusmeedia ning väliarvuti.

### 2.2 Leica Laserkaugusmõõtja DISTO D2 BT

Leica DISTO D2 BT (joonis 14) on kompaktne kaugusmõõtja, mis kasutab laserkiirt objekti kauguse määramisel. Antud laserkaugus mõõtjaga on võimalik mõõta kuni 300 meetri kaugusele  $\pm 1.5$  mm täpsusega (Geosystems, 2019).



**Joonis 14.** Leica Laserkaugusmõõtja DISTO D2 BT (Geosystems, 2019).

Leica DISTO D2 BT on võimalik kiirelt liita kokku või lahutada maha distantse, teha lihtsalt pindala ning mahuarvutusi. Laserkaugusmõõtja võimaldab mõõta raskesti ligipääsetavaid kohti (Geosystems, 2019).

## 2.3 Trimble CX 3D ülevaade ja algsed probleemid

Trimble CX 3D on WAVEPULSE tehnoloogial töötav maapealne laserskanner. Koolis olev instrument on 2011. aastal toodetud Trimble CX 3D mudel. 1.5 peatükis. „Eesti Maaülikooli ja Tallinna Tehnikaülikooli skannerite võrdlus“ on antud täpsemalt ülevaade kasutatud instrumendist ning lisaks on veel skanneri spetsifikatsioon lisatud lissasse (lisa 1). Kuna laserskanner tuli osakonda kasutatuna ja ilma spetsiaalse väljaõppeta, oli seadme kompleksusega ka töölerakendamise tõsised probleemid. Selgusetu oli isegi juhtarvuti ja tarkvara küsimus, samuti ei töötanud akud. Hoopis vastuseta oli küsimus, kas saab mõõta vaid juhtarvutiga või ka otse mälu pulgale. Samuti mis tarkvara kaudu saab määrata mõõtearameetrid, nagu skanneerimise tihedus ja ala ulatuse.

## 2.4 Skanneri toitesüsteemi osad ja parandamine

Toitesüsteem (joonis 15) koosneb skanneril kahest akust, seinatoitest ning akulaadijatest. Skaneerimise ajal on Trimble CX ühendatud juhtme kaudu toiteploki. Toiteplokk reguleerib voolu kasutamist, ning on varustatud ka skanneri juhtnupudega ja märgutuledega. Skanneril on võimalus skaneerida ka ilma akudeta otse võrgusüsteemist. Toitesüsteemi kaalub koos akudega 12,6 kg ning on 200 mm pikk, 320 mm lai ja 230 mm kõrge. Skanneri energiatarve on 50 W (Trimble, 2019: 18, 35-37).



Joonis 15. Trimble CX juhtkang (Ruul, 2019).



Selgus, et Trimble CX toitesüsteem akudelt ei töötanud, kuna mõlemate akude elemendid olid vanad ning vajasisd väljavahetamist. Tegemist on NmH akudega. Akud saadeti remonti Renoaar OÜ Tartu esindusse, mis tegeleb müügi kõrvalt ka akude ja patareide remontimisega. Peale akude parandamist oli võimalik teha 6 kuni 8 tundi järjest laserskaneerimist vastavalt töö individuaalsusele. Aku tühjenemisest annab märku toitesüsteemis olev vilkuv tuli. Kuni akude uuendamiseni, on tehtud tööd otse vooluseinavõrgust.

## **2.5 Salvestusmeedia ja tarkvara valik**

Andmesalvestus saab toimuda skanneril Trimble CX, kas mälupulgalt, kontrolleri või skanneri külge ühendatud arvuti kaudu. Salvestusmeedia valik tuleks otsustada töö eesmärgi ja ulatuse põhjal. Toetatud on USB mälupulga standard on 2.0. Trimble väli- või sülearvuti ühendamisel skanneriga kasutakse LAN-kaablit. Traadita side võrgu kasutusel peab siduma seadmed IP-aadressiga. Juhtarvutiks on Trimble Yuma 1 koos tarkvaraga Trimble Access ja selle lisamoodul skannerile CX. Juhtarvuti tarkvara on uuendatud uuele versioonile Access 2017, kuid skanneerimis moodul pärineb versioonist Access 2013. aastast. Põhjus on selles, et edaspidi läks skannerite juh tarkvara seadme osaks ja väliarvuti tarkvara enam ei arendatud. Juhtarvutist on pikemalt juttu järgmises punktis. Oluline on mainida, et salvestamine juhtarvutisse on probleemne just selle protsessi aegluse tõttu. Osa aeglusest on tingitud mälu kiirusest, osa aga konverteerimise vajadusest.

Väliarvuti plussiks mõõtmisprotsessis on kontroll iga liigutuse üle, lisaks kaamera jäädvustab mõõtmiste ajal digitaalseid pilte. Digitaalsete piltide abil on võimalik punkt pilv koordineerida mõõtmiste ajal soovitud koordinaatsüsteemi ning anda edasi skaneeringute reaalseid (RBG) värve. Väli-/sülearvuti miinusteks on aeganõudev salvestamine ning võib esineda skanneri ning kontrolleri vahel IP probleeme. Otse mälupulgale salvestamisel ei toimu andmete ümbersalvestamist teise formaati, mistõttu andmed edastatakse mälupulgale kiiresti ning lihtsalt. Mälupulga miinuseks on Trimble CX ei tee digitaalseid pilte. Samuti peavad sel juhul olema salvestusprotsessi juhtivad käsud mälupulga skript failis, mille juhendmaterjale oli väga raske leida.

## 2.6 Skanneerimise juhtimine erinevate tarkvaradega

### 2.6.1 Skanneri tööprotsessi juhtimine tarkvaraga Trimble Access Scanning väliarvutis Trimble Yuma 1

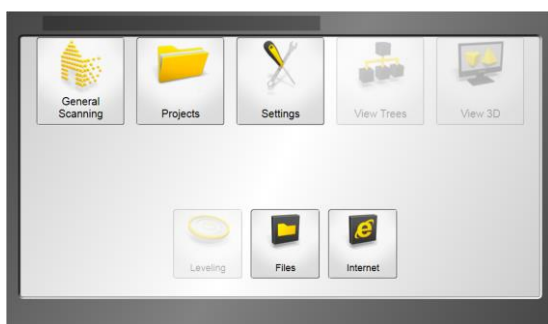
Trimble CX 3D skannerit saab kasutada koos esimese põlvkonna Yuma väliarvutiga (joonis 16) ning Trimble Access tarkvaraga. Nagu mainitud, on selle tarkvara lisa Trimble Scanning arendatud vaid versioonini 2013.31 (5787)-ni. See selgus küllaltki põhjaliku uuringu ja versiooni uuendamise käigus, kuna osakond ostis uuenduse tarkvarale Trimble Access, uuenes see versioonini 2017. Aga selle scanning lisa ei uuenenud nii palju.

Trimble esimese põlvkonna väliarvuti Yuma 1 on vastupidav põrutustele, tolmu ning veekindel (lisa 2). Väliarvuti aku kestvus on umbes 8 tundi, töötab Windows 7 Professional operatsioonisüsteemil. Esimese põlvkonna Yuma muutmälu ehk RAM on 1 GB ning 32 GB on mahtu kõvaketal. Väliarvuti on sismine 2 MP autofookusega kaamera videote ja fotode tegemiseks (Trimble, 2019: 1-2).

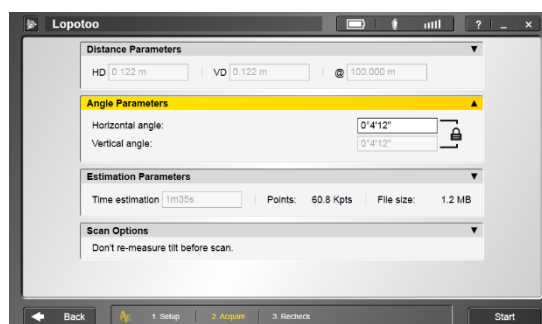


**Joonis 16.** Trimble Yuma 1 (Trimble, 2019: 1).

Skanneri juhtimiseks väliarvutiga peab ühendama kaabli abil kontrolleri ning instrumendi. Selleks tuleb sisse lülitada väliarvuti ning avada Trimble Accessi versiooni 2013.31 (5787). Järgmisena kaldeandur kompenseerib Trimble CX skanneri. Kui instrument on kompenseeritud, tuleb kontrollida üle *Settings* alt seadmed ning seejärel luua uus projekt käsu *Projects* alt (joonis 17). Kui uus projekt loodud, tuleb valida orienteerimismeetod (*Station Setup*, *Resection* või *No Station Setup*). *Station Setup* tähendab et asetsed skanneriga kindelpunktil ning koordinaatide määramisel tehakse nii tagasi- ja edasivaate. *Resection* korral kasutatakse jaama koordinaatide määramiseks tuntud punkte (nn vastulõige). *No Station Setup* annab võimaluse loobuda orienteerimisest väljas, mille tulemus on punktipilv suvalises koordinaatsüsteemis. Kui *Setup* on tehtud, saab valida, kas teha 360° skaneering või valida välja teatud ala, mida soovitakse skaneerida. Järgmises sammuna avaneb parameetrite aken (joonis 18), kus saab määrata kauguse, täpsuse (resolutsiooni) ning aja parameetrid. Kui sobivad parameetrid valitud alustakse skaneerinuga.



**Joonis 17.** Peamenüü (Ruul, 2019).



**Joonis 18.** Parameetrite muutmise (Ruul, 2019).

Peale skaneerimist kujutakse väliarvutis mõõdistatud punktipilv, mida on võimalik vaadata *Pan* ning *Zoom* käsuga.

Selle juhtarvuti kasutamisel selgus, et näiteks 7 minuti 10 sekundine skaneering salvestub umbes 17 minutit. See on kõige suurem takistus selle juhtarvuti kasutamisel. Katsetatud sai ka, kas protsessi kiirendab mälupulga asetamine juhtarvutisse, aga see ei muutnud eriti midagi. Just see salvestamise aeglus sundis aktiivsemalt otsima võimalust salvestada otse skannerisse asetatud USBle.

## 2.6.2 Skanneri tööprotsessi juhtimine otse mälupulgalt

Trimble CX skannerit saab juhtida ka ilma väliarvutita. Selleks tuleb sisestada skannerisse mälupulk, kuhu on eelnevalt salvestatud skriptfail parameetritega, mida skanner kasutab. Trimble CX skanner kasutab vaikimisi mlj laiendiga juhtfaili, mis on ASCII formaadis ehk lihtteksti vormingus, mida saab näiteks saab avada Notepadi programmiga. Parameetriteks on eeskätt skaneerimise ala tihedus. Varasemalt sai USB mälupulgale luua seda juhtfaili tarkvaraga ControlCPW8000. Kahjuks pole programmi ControlCPW8000 enam kuskilt leida. Samuti pole selle tarkvara täisjuhendit enam kuskilt saada. Internetist oli leida siiski lühike juhend, kus puudus küll konkreetsete termini seletus. Juhend on toodud (lisas 3). Üheks võimaluseks oli kasutada mõnda olemasolevat skripti. Õnneks oli skanneriga kaasa tulnud mälupulgal mõned näited olemas. Selgus, et näitefail oli mälupulgal samasugune, kui juhendis. Juhuslikult selgus ka, et on võimalik panna tühi mälupulk Trimble CX skannerisse ning vajutada toitesüsteemilt start nuppu. Skanner loob automaatselt parameetritega mlj faili, mis osutus samasuguseks kui juhendis ja juba mälupulgal olev skript. Seda faili on muidugi võimalik arvutis muuta vastavalt vajadusele. Põhilisel on töös kasutatud näiete skripti, mis näeb välja järgmine (*full-panorama-015-015.mlj*):

```
name =  
description =  
autosave = 0  
cleanup = 0  
keepfile = 1  
freefile = 1  
filetype = 0  
filepath =  
<cps2.measure.task.scan>  
getcalibdata = 1  
tempinterval = 10  
hpos1 = 0  
hpos2 = 360  
vpos1 = 30  
vpos2 = 180  
hres = 0.07  
vres = 0.07  
getinclination = 1  
getcompass = 0  
task = cps2.measure.task.scan  
</cps2.measure.task.scan>
```

Põhilised parameetrid, mida sai muudetud, oli skaneerimise resolutsioon nurgalistes väärtustes. Siin on toodud näites resolutsioon 0,07 kraadi ehk 0 kraadi 4 minutit 12 sekundit. See vastab 100 meetri kaugusel 12,2 cm-le ning 10 meetri kaugusel aga 1,2 cm-le. See tähendab et ümber ringi mööda tasapinda tuleb  $360/0,07=5100$  punkti ligikaudu. Vertikaalis oli skaneerimis ala 150 kraadi, mis vastab umbes 2100 punktile. Kokku tuli seega jaamas  $2100*5200$  umbes 11 miljonit punkti.

Tööprotsess on ise järgmine: mlj fail panna mälupulgale ning ühendada see skanneriga. Seejärel tuleb lülitada skanner juhtpuldist CU20 sisse. Enne esimest skaneerinut lasta Trimble CX skanneri soojeneda. Tekkis küsimus, kuidas aru saada, et skanner on töövalmis? Katsetuste käigus selgus, et kui skanner teeb tiiru ümber oma telje (on ennast ära initsialiseerinud), on selge, et ta on töövalmis. Kasutusjuhendi järgi võtab soojenemine 15-20 minutit, tegelikkuses osutus see aeg toas palju lühemaks. Madala välistemperatuuriga läks aega rohkem. Juhendi järgi tuleks oodata, kuni CU20 sütib roheline tuli "*Ready*" LED tuli, mis annab märku et, skanner on valmis alustama mõõtmisi (Trimble, 2009: 41-42). Kuna juhtkangil tuled vahest ei töötanud (põhjus selgusetu), lähtusime ikkagi pöörlemisest mitte tuledest. Käsk töö alustamiseks on reaalselt vajutus start nupule.

Samuti ei sütti peale mõõtmise lõpetamist kollane "*Finish*" LED tuli. Ka seda ei oska seletada, võibolla on tegemist ka erinevate tarkvara versioonidega võrreldes juhendiga või toitesüsteem vajab parandamist. Seetõttu sai võetud reegliks, et järgmist skaneerimist saab alustada, kui skanner on lõpetanud oma liikumise. Mõõtmisi on võimalik katkestada vajutades ühe korra "*Pause/Reject*" nupule. Vajutades kaks korda nupule "*Pause/Reject*", ei salvestata skaneering mälupulgale. Kui ilmneb edastusviga või mälupulk on mahult täis, süttib punane LED märgutuli ning hakkab tööle helisignaali (Trimble, 2009: 41-42).

Kokkuvõttes tuleb rõhutada, et salvestus mälupulgale toimus väga kiiresti ja nii mõõtmine osutus kõige lihtsamaks variandiks. Skript failis sai reeglina antud käsk, et skaneerida kogu ring. See vältis arutelu, et mis kraadide vahel skaneerida. Mitmed testid klallsis töid välja, et klassiruumis umbes 1 cm täpsusega skaneerimine võtab aega kogu ringi ulatuses umbes alla 5 minuti.

## 2.7 Kasutatud andmevormaadid ja ühilduvuse probleemid

Andmeid on võimalik pakkida kolme erinevasse formaati TZS, RWP ja CMF. CMF laiendiga fail luuakse otse USB mälupeale skaneerimise korral. Seda faili saab avada Trimble RealWorks või CPW 8000 programmiga. Katsetuste käigus selgus, et Trimble RealWorks 10.3.2 ning järgmised versioonid ei toeta enam CMF faili.

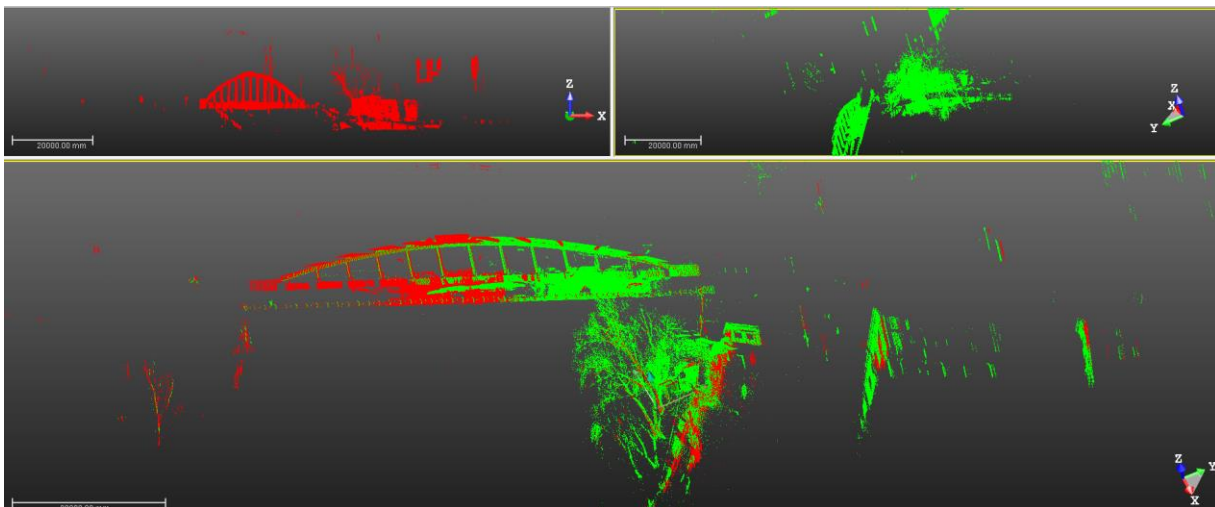
TZS on Trimble skaneerimise fail, mis luuakse Access tarkvara poolt juhul, kui mõõdistakse väliarvuti juhtimisel. RWP on Trimble RealWorks projekti fail. See luuakse kui salvestatakse TZS ja CMF failid ümber antud tarkvaras.

## 2.8 Skanneri andmete töötlus tarkvaraga Trimble RealWorksis 10.0

Trimble RealWorks on maailmas üks võimsamaid kontoritarkvarasid, mis mõeldud 3D punktipilve töötlemiseks. RealWorks võimaldab registreerida, visualiseerida ning töödelda punktipilve andmeid vastavalt vajadusele (Geosoft, 2019). EMÜ geomaatika osakonnal on programmi Trimble RealWorks uusimad versioonid. Aga CMF fail ei ole toetatud uusimates versioonides kasutakse enamasti Trimble 10.0 versiooni. Loomulikult nõuab laserskanneri punktipilve töötlus suurt arvutijõudlust. Selleks kasutati Keskkonnaobservatooriumi projekti abil soetatud arvutit, mille parameetrid on järgmised: protsessor Intel(R) Core(TM) i7- 4770 CPU 3.40 GHz, mälu tüüp 16,0 GB DDR3 (RAM), 64-baitine operatsioonisüsteem ning nelja tuumane protsessor.

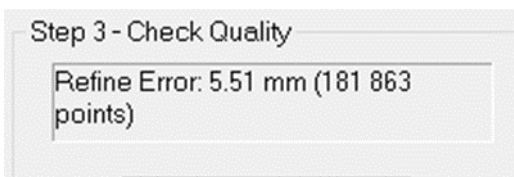
## 2.9 Punktipilvede kokkuliitmise (registreerimise) punktipilve põhiselt

Andmetöötluks avatakse Trimble RealWorksi 10.0 tarkvara. Punktipilve andmed avatakse *open* käsuga. Registreerida eri jaamadest tehtud skaneeringud ühtseks tervikuks tuleb avada *Registration* vaade (joonis 19). Antud töös on kasutatud punktipilve põhist registreerimist ning selleks on valitud *Cloud-Based Registration*.



**Joonis 19.** Registreerimine kattuvate punktipilvede abil (Ruul, 2019).

Registreerimiseks kasutakse järgmisi tööriistu: *Register clouds automatically*, *Interactive Panning* ning *Interactive Rotation*. *Register clouds automatically* vahendiga registreeritakse punktipilv automaatselt kokku kasutades kattuvaid elemente. Liiga väikse kattuvusega ala puhul ei saa antud tööriista kasutada, kuna tarkvara arvutab punkti koordinaadid liiga suurde vigadega. Punktipilve ühiskattuvus kvaliteeti saab kontrollida aknas *Check Quality* (joonis 20). Punktipilve kvaliteet määratakse vastavalt tööiseloomule.



**Joonis 20.** Punktipilve kvaliteeti kontrollimine (Ruul, 2019).

*Interactive Pan* võimaldab punktipilve nihutada üksteise suhtes ja *Interactive Rotation* võimaldab skaneeringut keerata üksteise suhtes nii vertikaalselt kui horisontaalselt 360°. Antud töövahendeid kasutakse juhul, kui soovitakse punktipilve käsitsi kokku panna. Samuti on punktipilve võimalik registreerida nn pliiatsi abil näidates tööaknas kahe punktipilve soovitatavalt kolm ühist punkti võimalikult samas kohas.

Kui punktipilved on registreeritud, puhastakse fail ära üleliigsest müra. Selleks avatakse *WorkSpace Segmentation Drawir>Segmentation*. Avaneb *Segmentationi* tööriistad (joonis 21). Üleliigset müra on võimalik eemaldada kas käsu *Polygonal*, *Rectangular* ning *Circular Selectioni* abil.



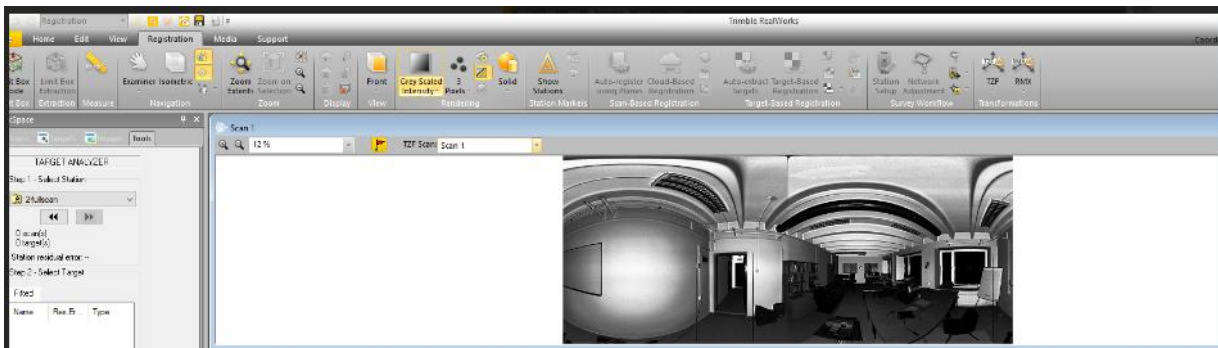
**Joonis 21.** Segmentation tööriistad (Ruul, 2019).

Kui punktipilvest on üleliigsed andmed eemaldatud luuakse uus projekt. Seejärel suletakse kasutatud tööriistad ning salvestatakse töö *save as* käsuga.

## 2.10 Testmõõtmised

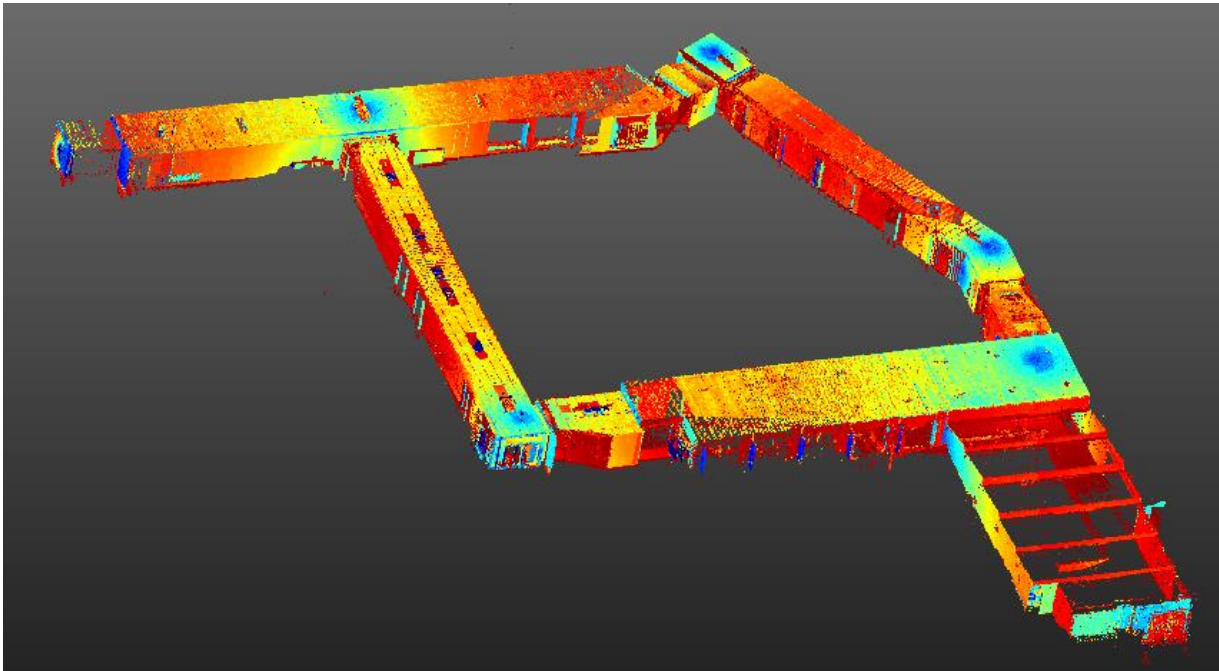
Testmõõtmised viidi läbi Trimble CX 3D laserskanneriga metsamajas (kreutzwaldi 5) ruumis 2b5, 2b7 ning kooli koridoris. Proovi laserskaneerimised viidi läbi 2018. aasta novembrist kuni 2019. aasta aprillini nii väliarvutiga kui ka USB juhttarkvaraga. Mõõtmiste eesmärgiks oli seada korda instrument ning õppida kasutama skannerit kui ka Trimble RealWorks tarkvara. Autoril puudus varasem kogemus Nii Trimble CX 3D laserskanneriga ning Trimble RealWorks tarkvaraga. Väliarvutiga testmõõtmise suurimaks probleemiks oli esimese põlvkonna Yuma aeglus. Iga käsk tuli läbi mõelda, kuna kontrolleri muidu võis muutuda liiga aeglaseks. Olukord paranes peale tarkvara uuendamist ning kontrolleri puhastamist. Puhastamise käigus kustutati ära kõik ebavajalik. Väliarvuti testmõõtmistel sai proovitud võimalusel registreerida punktipilv otse kohaliku koordinaatsüsteemi ning keskenduti ka teistele mõõdistamis võimalustele, mida väliarvuti pakub. Näiteks Registreerimine tähistega abil suvalisse süsteemi (joonis 22).





**Joonis 22.** Registreerimine tähiste abil suvalisse süsteemi (Ruul, 2019)

Samuti oli võimalik skaneerida otse USB mälu pulga abil ilma juhtarvutita. Esmalt tuli aru saada, kuidas süsteem töötab. Esimesed katsemõõdistused olid 1 kuni 3 jaamalised, mida registreerisin hiljem RealWorks keskkonnas tähistega kui ka punktipilve alusel. Suurem katsemõõdistus (joonis 23) leidis aset koridoris enne kevadsemestri algust, kus mõõdistamisi juhiti USB mälu pulgalt.



**Joonis 23.** Testmõõtmised kreutzwaldi 5 koridoris pärast punktipilve puhastamist tarkvaras Trimble RealWorks 10.0 (Ruul, 2019).

Kokku skaneeriti koridoris 39 606 375 punkti seitsmest erinevast jaamast, millest 37 623 174 punkti jäi alles pärast andmete puhastamist. Mõõtmise resolutsioon oli 0,07 kraadi. Koridor on kokku pandud seitsmest erinevast jaamast, kuid üks skanneeringu fail ei avanud vea tõttu ning lõpptöötluses on kasutatud kuut jaama. Mõõdistamise ajal esinesid väiksed probleemid. Näiteks ei töötanud veel akud, mistõttu pidi kasutama pikendusjuhet mõõdistamiste läbi viimiseks.

Pärast registreerimist ja puhastamist tarkvaras Trimble RealWorks on hinnatud ka punkt pilve täpsust, mis sõltub muidugi ka registreerimise täpsusest. Hakkas silma, et enamasti saab usaldada tarkvara enda täpsushinnanguid registreerimise kohta. Kuid võib esineda kohti kus tuleb käsitsi sekkuda, kuna sobimatus on ilmne.

## **2.11 Tartu kaarsilla teostusmõõdistamine**

Tartu kaarsild (joonis 24) valiti üheks mõõdistamisobjektiks, kuna autor soovis oma lõputööd siduda Tartu linnaga. Samuti tundus mõõdistamisobjekt huvitav ning piisavalt keeruline. Kaarsild asub Emajõel Raekoja platsi ning Tartu kesklinna vahel. Emajõe ületab kaarsilla kaudu keskmiselt 7 800 inimest/ööpäevas. Kivisild rajati kingitusena 1784. aastal Katariina II poolt Tartu linnale pärast 1775. aastal toimunud tulekahju. Sild hävis täielikult II maailmasõjas ning 1957 kuni 1959 valmis „Eesti Tööstusprojekt“ järgi uus sild.



**Joonis 24.** Tartu kaarsild (Tammeorg, 2018: 18).

2017. aastal aprillis kuni oktoobrini rekonstrueeriti Tartu Linnavalituse tellimisel Tartu kaarsild. Sild on 60,4 meetrit pikk ning kaaretõus tõuseb 8,72 meetrini. Ehitusööd käksid maksma 778 000 eurot, kus laiendati ning rajati kõnniteed silla alla, paigaldati uued vuugid ning tugiosad, betoonkonstruktsioonide ning kaldasammaste remontimine jne (Tammeorg, 2017; 6)

Tartu kaarsilla mõõdistamine toimus 19. märts 2019. Enne kaarsilla skaneerimist viidi läbi eeltöö. Eeltöö käigus pandi paika töö eesmärgid. Eesmärgiks seati võrrelda kaarsilla täpsuse erinevust projektist Trimble 3D CX laserskanneri abil. Skaneerimine tehti otse mälu pulgale 360 panoraamis põhimõttel. Sillast tehti eri nurkade alt ka pilte, et planeerida skannerite jaamade asukohad ning panti paika skaneerimise parameetrid (lisa 3).

## 2.12 Teostusmõõdistamise läbi viimine

Teostusmõõdistamise päeval oli ilm pilves ning sadas kohati vihma õrnalt. Vihm ei põhjustaks vale mõõdistamist katkestati mõõtmised või hoiti skaneerimise ajal instrumendi kohal vihmavarju. Skaneerimist häiris pidev inimeste ja liikluse liikumine. Silla skaneeriti 18 erinevast jaamast. Nii silla pealt, alt kui ka kõrvalt (joonised 25 ja 26). Skaneerimise resolutsiooniks valiti 0,07 kraadi.



**Joonis 25.** Kaarsilla skaneerimine silla kõrvalt (Türk, 2019).



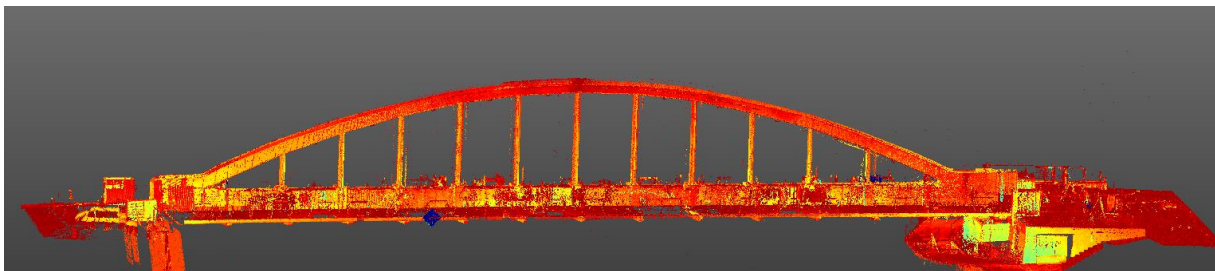
**Joonis 26** Kaarsilla skaneerimine silla pealt (Türk, 2019).

Skaneerimist aeglustas instrumendi tõrked. Tõrgeteks oli instrumendi kaua soojenemine või ümbruse mitte skaneerimine. Põhjuseks arvatavasti ilm või skaneerimise etappide vale

järjekord. Etappide järjekorra jälgimise teeb keerulisemaks juhtpaneeli tulede mitte töötamine. Seadme mitte skaneerimise korral tühjendati mälupulk ning panti tühi mälupulk seadmesse ning vajutati toitesüsteemis start nuppu. Trimble CX lõi skript faili, mille asendati varasemalt koostatud skript failiga. 18 jaama laserskaneerimine kulus aega ligikaudu 5 tundi.

## 2.13 Andmete puhastamine ning registreerimine

Enne registreerimist puhastatakse suurem osa punktipilve müra, kuna registreerimise käigus võrdleb Trimble tarkvara kahe skaneeringu andmeid ning arvutab võrdluse järgi punktidele asukohad. Eemaldatakse esmalt punktid, mis asusid ebaloomulikus asukohas. Järgmisena registreerin skaneeringud kokku punktipilve alusel. Punktipilve registreerimine on valitud, kuna skanner ei jäädvusta fotosid ning digitaalseid pilte, mis on vajalikud tähiste abil registreerimiseks. Peale skaneerimise kokku registreerimist eemaldasid üleliigse info: näiteks majad kaarsilla lähedal. Kokku mõõdistati 18 jaamast 65 614 550 punkti, millest jäi peale lõpliku puhastamist järgi 39 523 535 punkti (joonis 27).



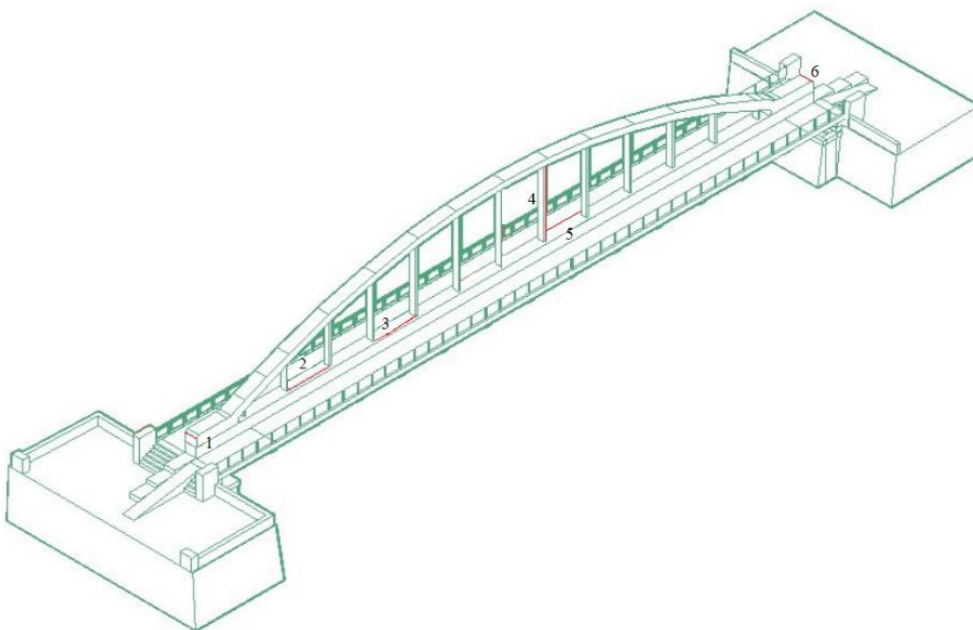
**Joonis 27.** Kokku registreeritud kaarsilla punktipilv (Ruul, 2019)

Kõige lõpus kontrollitakse visuaalselt üle, et poleks pilves topelt objekte ning silla kuju vastaks tegelikkusele. Vajadusel kontrollitakse üle mõõtmisvahendiga objekti elemendi pikkused.

### 3. TULEMUSED JA ARUTELU

#### 3.1 Tartu kaarsilla registreeritud skanneeringu täpsuse hindamine laserkaugusmõõturiga

Trimble CX 3D laserskanneri mõõtmisi tulemusi usaldada käidi Tartu Kaarsilla osasid elemente üle mõõtmast DISTO D2 BT laserkaugusmõõturiga. Lasemõõturiga mõõdeti juhuslikult valides 15 erinevat silla elementi üle, millest kuus (joonis 28) võrreldi registreeritud punktipilvega. Välistati mõõdud, kus inimeste ning liikluse tõttu polnud võimalik mõõte võtta, kuna oli liiga suur punktimüra ning elemendid olid transformeeritud tegelikust kujust näiteks silla nurgad olid ära hajunud.



**Joonis 28.** Tartu Kaarsilla mudelil kujutatud 6 mõõtu (Tinter-Projekt OÜ, 2017).

Punktipilve registreeritud andmeid on võrreldud laserkaugusmõõtmisega (tabel 2), kuna sooviti hinnata skanneri töö täpsust välitingimustes. Registreeritud punktipilve ning lasermõõturiga mõõdetud elemendi mõõtmed jäävad 1 kuni 7 millimeetri vahele keskmiselt ligikaudu 4 millimeetrit erinevust registreeritud punktipilve ning laserkaugusmõõtmise DISTO D2 BT vahe. Viga suuruse juures tuleks arvestada, et punktipilve registreerimis ning kaugusmõõtmise mõõtmistäpsust. Osad mõõdetud silla elemendid asuvad ühisosas, kus liideti kokku neli erinevat skanneeringut üheks terveks punktipilveks. Samuti oli lasermõõturiga problemaatiline silla kõrguste mõõtmine. Kõrguste mõõtmistel kõikus mõõdistus tulemus kõige rohkem. Kaarsilla

mõõtmete võrdluse selgus, et täpsus üksikust punktipilvest ning DISTO D2 BT jääb erinevus 0 kuni 5 mm piiresse.

**Tabel 2 .** Tartu kaarsilla registreeritud skanneeringu täpsuse võrdlemine laserkaugusmõõturiga

Silla detail-element	Registreeritud punktipilv (mm)	Üksik punktipilv (mm)	Lasermõõturiga (mm)	Registreeritud punktipilv vahe lasermõõturiga absoluut väärtus (mm)	Üksik punktipilv vahe Lasermõõturiga absoluut väärtus (mm)
1	1046	1045	1045	1	0
2	3474	3471	3470	4	1
3	3478	3484	3481	3	3
4	6332	6334	6339	7	5
5	6475	6472	6472	3	0
6	1043	1047	1048	5	1

Antud tulemuses on näha Trimble CX skanneriga mõõdetud andmed punktipilve liitmidel on usaldusväärsed. Usaldusväärsus oleks kõrgem, kui oleks skaneerinud kõrgema resolutsiooniga, kuna punktide eraldus võime 10 meetri kaugusel on 1,2 cm, mis on iseenesest päris suur. Aga skaneerimisi viidi silla pealt läbi tihedalt ei mängi rolli suur punktide eraldus võime.

### 3.2 Tartu kaarsilla skanneeringu võrdlus projektiga

Võrreldi kaarsilla tehtud mõõdistusi (tabel 3) Tartu linnavalitsuse poolt tellitud projektiga (tabel 3) Enne projektiga võrdlemist, tuli parandada mõned vead Kaarsilla joonistel. Projektis oli eksitud topoloogiliste seoste vastu 2D plaanide koostamisel. Näiteks joone otsad peavad üksteist puutuma kui asuvad lähemal kui 0,2 meetrit (Kiira, 2017). Osad jooned polnud projektis kokku säppitud miinimum tolerantsi järgi, mistõttu tuli parandada snäpivead projektis enne tulemuste võrdlemist. Snäppingu vead, mis parandati projektis ulatusid 0,9 millimeetrini.

**Tabel 3.** Tartu kaarsilla registreeritud skanneeringu täpsuse võrreldes projektiga.

Silla detail-element	Üksik punktipilv (mm)	Registreeritud punktipilv (mm)	Lasermõõturiga mõõdetud (mm)	Projektist Mõõdetud (mm)	Üksik punktipilv miinus projekt (absoluutväärtus) mm	Registreeri miinus projekt (absoluutväärtus) mm
1	1045	1046	1045	1082	37	36
2	3471	3474	3470	3460	11	14
3	3484	3478	3481	3460	24	18
4	6334	6332	6339	6338	4	6
5	6472	6475	6472	6460	12	15
6	1047	1043	1048	1082	35	39

2017. aastal Tartu Kaarsilla ehitustööde käigus tehti muudatusi pole kajastatud joonistel ega 3D mudelil. Plaanid pärinevad 2017. aasta jaanurist, enne silla remontimist. Remondi käigus ehitati uus kõnni tee, mis oli vanast 1 meeter laiem, paigaldati uued tugiosad ning vuugid, rajati uued peale- ning mahalekud jne (Tammeorg, 2017: 6). Üksiku punktipilve. ning projektis mõõdistatud andmete vahel on näha mitte vastavusi kuni 37 millimeetrini. Üksikut punktipilve on kasutatud, kuna sooviti viia vead miniaalseni.

### 3.3 Tehnilised märkused ja järeldused Trimble CX skanneri kohta

Trimble CX skanner seati töökorda. Kuid instrumendil jäid mõned probleemid lahendamata. Lahendamata jäi instrumendi juhtpuldi tuledesüsteem ning skripti tegemine ControlCPW8000 programmiga. CU20 tuledesüsteem harva töötas tuledesüsteem seega ei saa olla mudeli versiooni eripära. Arvatavasti vajaks juhtpult remonti. Nagu eelnevalt mainitud ei leitud internetis ControlCPW8000 programmi, mis tõttu jäi osad parameetrid skriptis arusaamatuks.

Arvan Trimble CX skanner on piisavalt efektiivne tänapäevases kontekstis kui kasutakse moodsaimad tarkvarasid. Põhinedes faktil et, mõõtmise toimus välistes tingimustes ning ühe jaamast teise liikumine ning seal mõõdistamine kestis kokku kiirematel skaneerimistel 14 minutit. Arvestades et, skanneering ise oli 5 minutinet 9 sekundit pikk. Samuti leian et, Trimble CX mõõdistamise täpsus on piisav. Arvatavasti oleks skannerimis täpsus parem olnud kui oleks valinud silla skaneerimisel kõrgema resolutsiooniga punktipilve. Aga teises küljes viie tunniga skaneerida 18 jaama õppeprotsessi käigus tundub liiga vähe, kuna praktika käigus Hades

Geodeesias Faro Focus 3D laser skanneriga skaneeriti 8 tunni jooksul üle 100 skaneeringu. Skaneerimine toimus Tartu Ülikooli raamatukogu siseruumides.

### **3.4 Arutelu**

Tööprotsessi käigus seati korda skanneri toitesüsteem, juhttarkvara, salvestusmeedia ning juhtarvuti valik. Lisaks kirjeldati tööprotsessi skanneriga skaneerimisel eeltööst kuni kvaliteedi kontrollini välja. Trimble CX skanneril toitesüsteemi akud olid vanad ja vajasisid väljavahetamist. Akud viidi Renoaar OÜ Tartu esindusse remonti. Peale akude remonti kestsid akud 6 kuni 8 tundi järjest. Andmesalvestus skanneril saab toimuda mälupulga, kontrolleri või hoopis skanneri külge ühendatud arvuti kaudu. Töös selgitati, et kõige efektiivsem arvestades tarkvara valikut on USB mälupulgle salvestamine. Kui väliarvuti kaudu juhitud 7 minutine 9 sekundine skanneering kestab umbes 17 minutit, kuna loodud failiformaati salvestatakse ümber. Lisades juurde aja, mis kulub instrumendi soojenemine (5 kuni 20 minutit) ning ühest jaamast teise liikumine ning seadme püsti seadmine. Ajaliselt jõuaks sama aegselt CU20 juhtimisel viia läbi kahes jaamas mõõtmised. Andme töötlus viidi läbi Trimble RealWorkis 10.0, kuna USBle salvestab Trimble CX seade CMF formaatingus, mida enam ei toetata Trimble kontoritarkvaras versioonis 10.3.2.alates 2017. aastast.

Proov mõõtmised viidi läbi Trimble CX 3D laserskanneriga metsamajas 2b5, 2b7 ruumides, koridoris ning Tartu kaarsillal. Mõõdistati testmõõtmistel üle 100 miljoni punkti. Peale mõõrmist puhastati andmed RealWorkis, kus eemaldati punktipilve müra ning lõpp tulemusena registreeriti kokku. Iseenesest on punktipilve registreerimine pilvest pilve aega nõudev tegevus ning andmetöötlusel tuleb suurem viga kui tähistega skaneeringute liitmisel. Arvan et, seade oleks tänapäeva kontekstis efektiivne, kui oleks võimsam väliarvuti.



## KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöö ülesandeks oli uurida põhjalikult Trimble CX laserskanneri võimalusi ja täpsust. Uurimisprotsessi käigus seati korda skanneri toitesüsteem, juhttarkvara, salvestusmeedia ning väliarvuti. Kohe esmasel tutvumisel seadmega selgus, et Trimble CX skanneril toitesüsteemi akude elemendid olid vananenud, mistõttu lasti vahetada akude sisud. Peale uuendamist pidasid akud vastu 6 kuni 8 tundi. Lisaks rakendati tööle kaks erinevat andmesalvestuse võimalust. Andmevahetuse kiiremaks toimimiseks puhastati väliarvuti vanadest failidest ning uuendati tarkvara. Seati korda skript fail, mille tulemusel sai mõõdistatud punktipilve salvestada otse USBle, ilma faili eelnevalt ümber konvertimata. Katse mõõtmised viidi läbi Trimble CX seadmega Metsamaja ruumides ning Tartu kaarsillal, mille käigus mõõdistati üle 100 miljoni punkti.

Üheks töö eesmärgiks oli välja selgitada, milline oleks kõige efektiivsem meetod Trimble CX skanneriga skaneerimisel ning hinnata seadme võimekust nüüdisaegses võtmes. Lisaks eritleda seadme kasutus efektiivsust ja skaneerimise täpsust. Trimble CX seadmele sobiliku salvestusmeedia ning väliarvuti parima lahenduse leidmiseks kasutati katse-eksitus meetodit. Tulemustes selgus et, juhtpuldilt Trimble CX skanneri juhtimine on kõige tõhusam meetod, kuna väliarvutil kulub ümber salvestamiseks liiga palju aega.

Bakalaureusetöö hüpoteesiks püstitatud väide, et Trimble CX skanner on efektiivne ning piisavalt täpne tänapäevases kontekstis sai tõestatud pooleldi. Kinnituse sai lause osa, et instrument on piisavalt täpne. Kaarsilla mõõtmiste võrdlusel selgus, et täpsus üksikust punktipilvest jääb 5 mm piiresse ja registreeritud punktipilve suhtes kuni 7 mm. Kokku liidetud punktipilv sisaldab juurde registreerimise viga.

Ümber lükati oletus, et Trimble CX skanner on piisavalt efektiivne tänapäeval mõõtmiste läbi viimisel. Leiti et, skanneril kulub soojenemiseks liiga palju aega. Eriti kui tuleb läbi viia massmõõtmisi. Lisaks mõõtmise tegevuse läbi viimiseks on seade liiga tülikas ja kohmakas, kuna skanner ei ole nn kõik ühes seade vaid on eraldi skanner, juhtpult ja akud.

Kasutades andmete salvestamismeetodit otse mälupulgale, kitsendab see andmetöötlusel punktipilve registreerise võimalusi. Välistatud on registreerimine tähiste järgi, mis on

usaldusväärsem ning täpsem. Antud salvestusmeetodit kasutades on võimalik liita skaneeringud kokku ainult punktipilve alusel.

Arvan et, seadme efektiivsus kasvaks kui Trimble CX laserskannerit kasutada koos võimsama tänapäevase väliarvutiga, mille tulemusel väheneks aeg andmete järeltöötlusele. Samuti ühendada väliarvuti ja skanner võrguga, et ei esineks IP probleeme.

## VIIDATUD KIRJANDUS

- Cyra Technologies. (s.a.). Cyrax 2500 with smartscan technology [on-line] [https://www.upc.edu/sct/ca/documents\\_equipment/d\\_290\\_id-717.pdf](https://www.upc.edu/sct/ca/documents_equipment/d_290_id-717.pdf) (11.04.2019).
- Daslhub. (s.a.). Performing Scans with the Riegl LMS-Z210. [on-line] <http://www.daslhub.org/unlv/wiki/lib/exe/fetch.php?media=dylanw:riegllmsz210.pdf> (20.04.2019).
- Ebrahim, A.-B. M.** (2014). 3D laser scanners: history, applications, and future. – Rresearchgate. [on-line] <https://www.researchgate.net/publication/267037683> (12.04.2019).
- Faro - (2009). FARO Laser Scanner Photon 120/20-dirdim [on-line] [http://www.dirdim.com/pdfs/DDI\\_FARO\\_Laser\\_Scanner\\_Photon.pdf](http://www.dirdim.com/pdfs/DDI_FARO_Laser_Scanner_Photon.pdf) (11.04.2019).
- Geosoft - (2009) Trimble SX10. [veebileht] <https://geosoft.ee/tooted/trimble-sx10> (30.04.2019)
- Geosoft (2019) - Trimble Real Works [veebileht] <https://www.geosoft.ee/tarkvara/trimble-real-works> (22.04.2019)
- Geosystems (s.a) Leica DISTO D2 BT. [veebileht] <https://www.geosoft.ee/tarkvara/trimble-real-works> (30.04.2019).
- Joala, V.** (2006). Laserskaneerimine-suure detailsusega 3-Dmõõtmine. – *Geodeet*. Nr 32 (56), lk 20-22.
- Leica Geosystems AG. (2011). Leica ScanStation C10 the all in one laser scanner for any application. [on-line] [https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/ScanStation%20C10/brochures-datasheet/Leica\\_ScanStation\\_C10\\_DS\\_en.pdf](https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/ScanStation%20C10/brochures-datasheet/Leica_ScanStation_C10_DS_en.pdf) (30.04.2019).
- Leica Nova MS60 brochure - Leica Geosystems AG (2015) [on-line] [https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/nova\\_ms60/brochures-datasheet/Leica%20Nova%20MS60%20DS\\_en.pdf](https://w3.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/nova_ms60/brochures-datasheet/Leica%20Nova%20MS60%20DS_en.pdf) (30.04.2019).
- Leica-RTC360-Datasheet - Leica Geosystems AG (2018) [on-line] <https://www.sccsurvey.co.uk/pdfs/reality-capture-solution/Leica-RTC360-Datasheet.pdf> (30.04.2019).
- Lerch, L., MacGillivray, M, Domina, T.** (2007) 3D Laser Scanning: A Model of Multidisciplinary Research- textiles. [on-line] [https://textiles.ncsu.edu/tatm/wp-content/uploads/sites/4/2017/11/Lerch\\_full\\_221\\_07.pdf](https://textiles.ncsu.edu/tatm/wp-content/uploads/sites/4/2017/11/Lerch_full_221_07.pdf) (22.04.2019)
- Lõhmus, H., Ellmann, A., Märdla, S** (2015) – Terrestrilise laserskaneerimise kaasamine sildade koormuskatsetuste geodeetilistel uuringute – *Geodeet*. Nr 44(68), lk 32-41.

- Lõhmus, Hannes.** Terrestilise laserskaneerimise kaasamine sildade koormuskatsetuste geodeetilistel uuringutel. Magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool teedeinstituut. Tallinn. lk 146
- Madis, Tammeorg.** (2017). Tartu kaarsild ehitustööd 2017. [on-line] <https://kuntatekniikka.fi/wp-content/uploads/sites/2/2018/06/8-Construction-of-Tartu-Kaarsild-Madis-Tammeorg-.pdf> (30.04.2019)
- Mill, T., Ellmann, A., Uueküla, K., Joala, V.** (2011). Teetasapinna mõõdistamine terrestilise laserakaneerimise ja elektrontahhümeetilise mõõdistamise tehnoloogia. – *Geodeet*. Nr 41 (65), lk 81
- Mõisa, K.** (2017). Digitaalkartograafia loengukonspekt. Tartu: Eesti Maaülikool
- Mäeots, Siim.** 2018. Solna Centrum-i inventariseerimine 3D Laserskaneerimise tehnoloogia abil. bakalaureusetöö. Tallinna tehnikakõrgkool ehitusinstituut. Tallinn. 50 lk.
- Parker, S.** (2007). Introduction, history of lasers and laser light production. – *Nature*. [e-ajakiri] <https://www.nature.com/articles/bdj.2006.113> (12.04.2019).
- Quintero, M. S., Genechten, B. V., de Bruyne, M., Poelman, R., Hankar, M., Barnes, S., Caner, H., Budei, L., Heine, E., Reiner, H., García, J.L.L., Taronger, J.M.B.** (2008). Theory and practice on terrestrial laser scanning : training material based on practical applications; [prepared by the learning tools for advanced three-dimensional surveying in risk awareness project (3DRiskMapping)] Ed. UPV, Univ. Politécnica de Valencia. 261 lk.
- Reidla, K.; Lehtla, A.; Andrianov, V.** (2004). Laserteraapia kasutamisest eksperimentaalsete luumurdude paranemise kiirendamiseks küülikutel. – *Agraarteadus*. Nr XV (2), lk 119.
- RIEGL Laser Measurement Systems** (2019) – About RIEGL [veebileht] <http://www.riegl.com/company/about-riegl/> (12.04.2019).
- Roopalu, Reijo-Tero.** 2018. Staatilise laserskaneerimise andmete põhjal puistangu mahtude arvutamise täpsus. Magistritöö. Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 80 lk.
- Ruane, K.** (2019). The use of 3D laser scanning technology for bridge inspection and assessment. – Academia. [veebileht] [https://www.academia.edu/9009956/The\\_use\\_of\\_3D\\_laser\\_scanning\\_technology\\_for\\_bridge\\_inspection\\_and\\_assessment](https://www.academia.edu/9009956/The_use_of_3D_laser_scanning_technology_for_bridge_inspection_and_assessment) (30.04.2019).
- Rudolf, S.** (2011). 10 years of Terrestrial Laser scanning- Technology, systems and applications- Fig. [on-line] [https://www.fig.net/news/news\\_2011/geosiberia\\_april\\_2011/Novosibirsk\\_Geosiberia\\_2011\\_Paper\\_Rudolf\\_Staiger.pdf](https://www.fig.net/news/news_2011/geosiberia_april_2011/Novosibirsk_Geosiberia_2011_Paper_Rudolf_Staiger.pdf) (11.04.2019).

- Surveying (2018). Scanner Sphere with Magnet. [on-line]  
[https://www.surveying.com/media/catalog/product/cache/1/image/17f82f742ffe127f42dca9de82fb58b1/o/r/original\\_6703-10\\_1.jpg](https://www.surveying.com/media/catalog/product/cache/1/image/17f82f742ffe127f42dca9de82fb58b1/o/r/original_6703-10_1.jpg) (30.04.2019).
- Terrestrial Laser Scanning-Based Bridge Structural Condition Assessment. (2016). Yelda Iowa State University Institute for Transportation. [veebileht]  
[https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1198&context=intrans\\_reports](https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=1198&context=intrans_reports) (30.04.2019).
- Tiger Supplies. (2019) Adhesive Survey Target, Qty. 10 [veebileht]  
[https://www.tigersupplies.com/Products/Seco-Adhesive-Survey-Target--Qty-10\\_SEC6705-20.aspx](https://www.tigersupplies.com/Products/Seco-Adhesive-Survey-Target--Qty-10_SEC6705-20.aspx) (30.04.2019).
- Topographic Laser Ranging and Scanning Principles and Processing . (2017). /J. Shan; C. K. Toth: CRC Press Custom Publishing. [on-line] ebrary (13.04.2009).
- Trimble. (2009). - Trimble Cx 3D Scanner User Guid [on-line]  
<ftp://www.myconnectedsite.com/TCC/surveysalesam/SeanChard/Spatial%20Imaging/Trimble%20CX/Trimble%20CX%20-%20User%20Guide.pdf> (22.04.2019).
- Trimble Navigation Limited. (2010) Trimble CX 3D laser scanner datasheet. [on-line]  
[http://www.hollywood.co.th/file\\_images/426\\_file\\_datasheet\\_thai.pdf](http://www.hollywood.co.th/file_images/426_file_datasheet_thai.pdf) (22.04.2019).
- Tööelu. (2019) Laserkiirus. [veebileht]  
<https://www.tooelu.ee/et/Tooandjale/Tookeskkond/Tookeskkonna-ohutegurid/Fyysikalised-ohutegurid/laserkiirus> (30.04.2019).
- Uueküla, Katrin.** Terrestilise laserskaneerimise andmete baasil loodud 3D mudelite kvaliteedi analüüs. Magistritöö. Tallinna Tehnikaülikool teedeinstituut. Tallinn. lk 81.

**LISAD**

# Lisa 1. Trimble CX skanneri spetsifikatsioon

## TRIMBLE CX 3D LASER SCANNER

### PERFORMANCE

WAVEPULSE technology ..... combined time-of-flight, phase shift  
 Range (typically under standard  
 clear conditions)<sup>1,2</sup> ..... 80 m to 90% reflective surface<sup>3</sup>  
 50 m to 18% reflective surface<sup>3</sup>  
 Scanning speed ..... 54,000 points per second  
 Standard deviation<sup>4</sup> ..... 1 mm @ ≤30 m;  
 1.25 mm @ ≤50 m; 1.8 mm @ ≤80 m  
 Single point accuracy<sup>4</sup> ..... position = 4.5 mm @ 30 m; 7.3 mm @ 50 m  
 distance = 1.2 mm @ 30 m; 2 mm @ 50 m  
 Hz angle = 15° (70 µrad); Vt angle = 25° (120 µrad)  
 Modeled surface precision ..... ±3 mm (depending on method)<sup>2</sup>  
 Luminance resolution ..... 16 bits  
 Leveling ..... circular level in tribrach: 8'  
 dual-axis compensator (user selectable);  
 resolution 0.005"; operating range ±10"  
 Data integrity ..... Vertical compensation  
 Spot size ..... 8 mm @ 25 m; 13 mm @ 50 m  
 Scan grid ..... minimum angular step (horiz. & vert.): 0.002"  
 scan row (hz): 180,000 points; scan row (vt): 150,000 points

### SYSTEM SPECIFICATIONS

Laser ..... type: 660 nm, red  
 Class: IEC 60825-1 – Class 3R  
 beam divergence: 0.2 mrad, 3 mm at exit  
 Field of view ..... 360° x 300°  
 Optics ..... separate channel emission/reception  
 Data transfer ..... USB flash drive; Ethernet  
 Digital imaging ..... real-time integrated color video  
 Status indicators (power supply) ..... multiple

### PHYSICAL

Instrument ..... dimensions: 120 D x 520 W x 355 H mm  
 weight: 11.8 kg (26 lb); power consumption: 50 W  
 Power supply ..... Integrated unit: AC 90–240 V, 50–60 Hz;  
 DC 24 V nominal; 2 integrated batteries (chargers separate)  
 dimensions: 200 D x 320 W x 230 H mm; weight: 12.6 kg (28 lb)  
 Instrument case ..... rugged, rolling;  
 dimensions: 795 D x 518 W x 394 H mm; weight: 12 kg (26.5 lb)  
 Environmental ..... operating temp: 0 °C to 40 °C;  
 storage temp: –20 °C to 50 °C  
 light: operational under dark and ambient light conditions  
 sealing: IP64 (I.E.C.); shock: IEC 60721-3-2; 2M2 (scanner)  
 2M3 (scanner in case)  
 humidity: 20% to 85%, non-condensing  
 Standard accessories ..... rolling instrument case;  
 integrated power supply pack; Trimble tribrach;  
 50 adhesive flat targets; USB flash drive;  
 data transfer cable, WLAN antenna  
 Optional accessories ..... Trimble Tablet  
 Target Kit, Trimble Tri-Max tripod

### FIELD SOFTWARE

Trimble Access for Spatial Imaging is control software that runs on Trimble Tablet to control the Trimble CX. In addition to instrument control, Trimble Access includes specialized applications that allow users to create deliverables directly in the field on the Trimble Tablet controller.

#### Efficient in-field registration:

- Station setup and resection routines
- Electronic leveling
- Dual axis compensation
- Automatic target recognition
- Target re-check

#### Refined framing capabilities:

- Fast framing on video, point cloud, panorama or image
- Rectangular and polygonal framing
- Video-based remote instrument control

#### Scanning advantages:

- Full dome scanning
- Autonomous scanning mode
- Scan time estimation and resolution control
- Return intensity and colored point cloud

#### Sophisticated display:

- Real-time 3D visualization, pan and zoom, even while scanning
- Live video streaming
- True color or intensity mapped point cloud display
- Simulated surface rendering and environmental lighting
- Visualization of instrument location



#### Standard accessories

- Rolling instrument case
- Trimble tribrach
- Data transfer cable
- USB flash drive
- Adhesive flat targets
- Power supply unit
- Batteries/chargers

#### Optional accessories

- Target kit

© 2010, Trimble Navigation Limited. All rights reserved. Trimble, and the Globe & Triangle logo are trademarks of Trimble Navigation Limited, registered in the United States and in other countries. Access and WAVEPULSE are trademarks of Trimble Navigation Limited. RealWorks is a registered trademark of Bentley Systems, Inc. All other trademarks are the property of their respective owners. PN 023460-2023 (04/10)

1 Standard clear: No haze. Overcast or moderate sunlight with very light heat shimmer.

2 Range and precision depend on atmospheric conditions, size of targets and background radiation.

3 Kodak Gray Card, Catalog number E1527795.

4 Figures (typical values at 90% albedo) given for standard data capture, single shot, on distance measurement.

Specifications subject to change without notice.





## Lisa 2. Trimble Yuma väliarvuti spetsifikatsioon

### Trimble Yuma Rugged Tablet Computer

#### STANDARD FEATURES

- Genuine Windows 7 Professional
- Intel Atom 1.6 GHz processor
- 1 GB DRAM
- 32 GB Solid State Hard Drive
- Sunlight readable color display
- 5 wire resistive touchscreen
- Rugged waterproof design
- Headphone/speaker mini-jack stereo
- Microphone/line-in mini-jack
- Outward facing autofocus 2 MP camera (video and photo)
- User facing 1.3 MP camera (video and photo)
- Integrated Bluetooth 2.1 Class 2
- Integrated WiFi b/g (Cisco certification pending)
- Integrated GPS
- SDIO memory slot
- ExpressCard 34 mm slot
- Standard Battery set (4 hours)<sup>1</sup>
- 12-month warranty

#### STANDARD SOFTWARE

- User's Manual (electronic)
- Internet Explorer
- G-Camera software linked to GPS
- GPS receiver control software

#### STANDARD ACCESSORIES

- AC charger with power cord
- Stylus pen
- Tether for stylus pen
- Hand strap
- Screen protectors
- Extended Cap
- Display Cleaning Cloth

#### OPTIONAL ACCESSORIES

- Extended Battery Set (8-hour)<sup>1</sup>
- 12 V Vehicle Charger
- International Adaptor
- Pole Mount
- Tactical Vehicle Mount
- Office Docking Station (features a 2-bay extra battery charger)
- Lanyard for stylus
- Rugged Keyboard

#### PHYSICAL

Size (LxWxH) ..... 5.5 in x 9 in x 2 in (14 cm x 23 cm x 5 cm)  
 Weight ..... 2.6 lb (1.2 kg) including strap and standard batteries  
 Colors ..... yellow w/ black or gray w/black  
 Housing ..... Mg-Al  
 Keys ..... six keys (power, enter, directional and 3 user programmable function buttons)

#### ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

##### Meets or exceeds:

Water ..... Immersed in 1 m of water for 30 minutes  
 Water Jet 12.5 mm dia. @ 2.5 m-3 m, 100 Liter/min  
 MIL-STD-810F, Method 512.4, Procedure I  
 IEC-529, IP67  
 Sand & dust ..... 8 hours of operation with blowing talcum powder  
 MIL-STD-810F, Method 510.3, Procedures I, II  
 IEC-529, IP67  
 Drop ..... 26 drops from 4 ft (1.22 m) onto plywood over steel  
 6 additional drops at -22 °F (-30 °C)  
 6 additional drops at 140 °F (60 °C)  
 MIL-STD-810F, Method 516.5, Procedure IV  
 Vibration ..... General Minimum Integrity and Loose Cargo test  
 MIL-STD 810F, Method 514.5, Procedure I, II  
 Operating Temperature ..... -22 °F to 140 °F (-30 °C to 60 °C)  
 MIL-STD 810F, Method 501.4, Procedure II  
 MIL-STD 810F, Method 502.4, Procedure I, II, III  
 Storage Temperature ..... -40 °F to 158 °F (-40 °C to 70 °C)  
 MIL-STD 810F, Method 501.4, Procedure I  
 MIL-STD 810F, Method 502.4, Procedure I, II, III  
 Temperature shock ..... -22 °F/149 °F (-30 °C/+65 °C)  
 MIL-STD-810F, Method 503.4, Procedure I  
 Humidity ..... 90%RH temp cycle 32 °F/158 °F (0 °C/+70 °C)  
 MIL-STD-810F, Method 507.4  
 Altitude ..... 15,000 ft at 73 °F (22 °C) and 40,000 ft. at -22 °F (-30 °C)  
 MIL-STD-810F, Method 500.4, Procedures I, II, III

#### ELECTRICAL

Processor ..... Intel Atom Z530 1.6 GHz processor  
 RAM Memory ..... 1 GB DDR2  
 Storage ..... 32 GB Solid State Hard Drive  
 Expansion ..... SDIO memory slot  
 ExpressCard 34mm slot  
 Display ..... 7" widescreen 1024x600 WSVGA 650 nit  
 Standard Batteries ..... Dual hot-swappable Lithium-Ion batteries,  
 2600 mAh each  
 Extended Batteries ..... Dual hot-swappable Lithium-Ion batteries,  
 5100 mAh each  
 I/O ..... USB 2.0 port (x2), 9-pin serial port (RS-232)  
 DC power port, 32-pin docking  
 External GPS Antenna via Vehicle Docking Station  
 Integrated Bluetooth ..... Bluetooth v. 2.1 + EDR Compliant  
 Class 2 (2.5 mW)  
 Integrated 802.11 b/g ..... Intel WiFi Link 5100 (CCQ)  
 Integrated GPS ..... SIRF STAR III, WAAS capable

#### CERTIFICATIONS:

MIL-STD-461E (RE102, RS103), RoHS compliant, MIL-STD-810F, IP67, TUV,  
 C-Tick (Australia/New Zealand), FCC (US), CE (EU), IC (Canada), Section 508  
 compliant, CCXv4

<sup>1</sup> To ensure best performance when temperatures are below -4 °F (-20 °C), be sure battery is inserted in the device only when in use. When device is not in use at these temperatures, keep batteries in a pocket or stored in a warmer area.

Specifications subject to change without notice.

© 2009-2010 Trimble Navigation Limited. All rights reserved. Trimble and the Globe & Triangle logo and Yuma are trademarks of Trimble Navigation Limited registered in the United States and in other countries. Microsoft, Windows, Windows 7 and the Windows logo are trademarks or registered trademarks of Microsoft Corporation in the United States and/or other countries. The Bluetooth word mark and logos are owned by the Bluetooth SIG, Inc. and any use of such marks by Trimble Navigation Limited is under license. All other brand names and trademarks are property of their owners. Color display images shown may vary slightly from actual display. PN 001024000-000C (03/10)



Trimble Navigation Limited  
 P.O. Box 947  
 Corvallis, OR 97339  
 541-750-9200 Phone  
 www.trimble.com/rugged  
 www.outdoorrugged.com

YOUR AUTHORIZED TRIMBLE DISTRIBUTION PARTNER



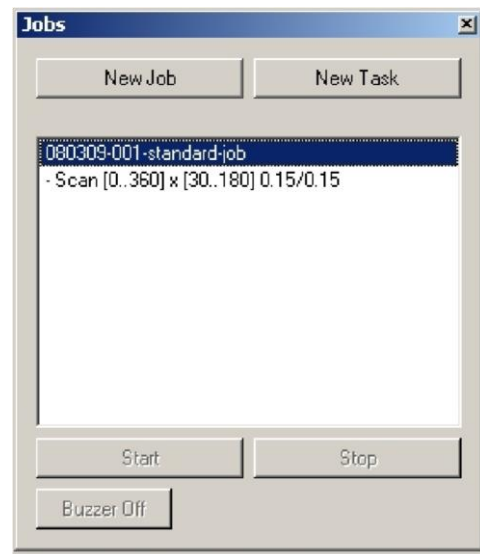
www.trimble.com



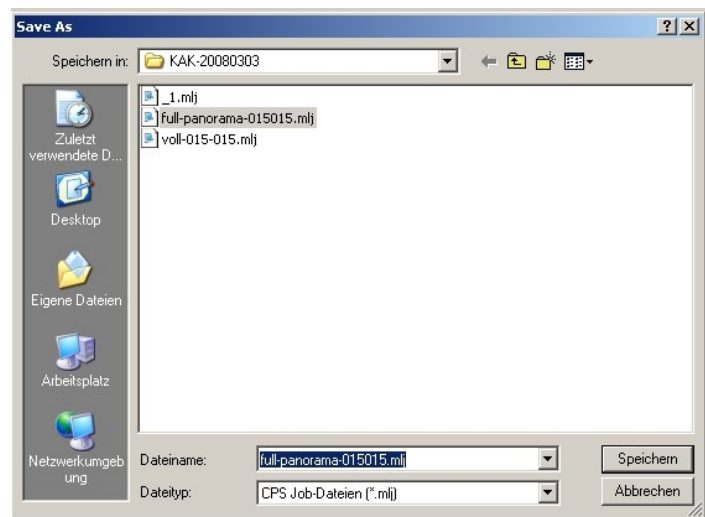
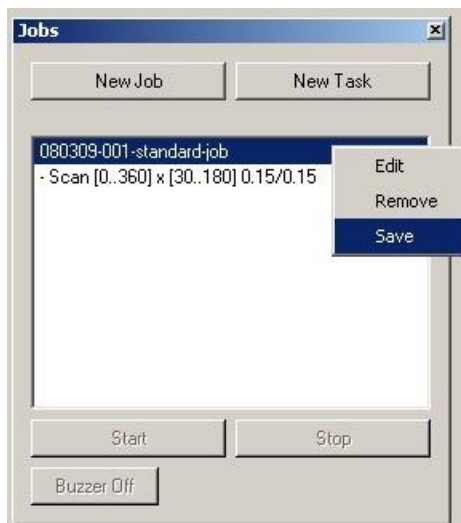
## Lisa 3. Trimble CX juhtimine mälupulgalt

### Scan with a Standard Job without a PC

#### 1. Create a Job with the ControlCPW8000 program



#### 2. Save the new Job onto your hard disk



Contents of the example file < full-panorama-015-015.mlj >

**name =**  
**description =**  
**autosave = 0**  
**cleanup = 0**

```

keepfile = 1
freefile = 1
filetype = 0
filepath =
<cps2.measure.task.scan>
getcalibdata = 1
  tempinterval = 10
    1. hpos1 = 0
hpos2 = 360
vpos1 = 30
vpos2 = 180
hres = 0.15   vres
= 0.15
getinclination = 1
getcompass = 0
  task = cps2.measure.task.scan
</cps2.measure.task.scan>

```

This mlj file is an ASCII formatted file and can be edited with any ASCII editor program.

### 3. How to place the job file in the measure head

- Close at first your ControlCPW8000 program
- Shutdown the power of the control unit CU20
- Replace now the USB stick from the measuring head
- Put the USB stick onto the USB slot of your PC
- start any explorer
  
- Folders of the USB stick:
 

<b>.qt</b>	system area
<b>curver</b>	system area
<b>jobs</b>	list of the jobs
<b>scan</b>	measure files
  
- Contents of the path **jobs** :      **default.job**

.  
 full-panorama-015-015.mlj  
 .
  
- save the new job in this list
  
- **change the name of the file inside of the “default.job” file**
- **this is the new standard job now**
  
- close the explorer
- replace the USB stick to the measuring head
- the system is ready now to work without a PC

### 4. Operation of the CU20 without Laptop

The following steps are described also in the documentation named “Operating Instruction Control Unit CU20.pdf” .

- After the green “Ready” LED lights up, the Start button can be pushed.
- This button starts a program (job) that has been previously saved in the measuring head.
- The orange “Measure” LED lights up.

- If the measurement is finished, the yellow "Finish" LED lights up. In addition, a buzzer (on/off) signalizes that the measurement is complete.
- The measured data are now saved on the USB stick on the measuring head.
- After pushing the "Pause" button (right button) the buzzer is stopped and the measure is finished.
- After that, the "Ready" LED lights up again.

**Attention:**

**Before shutdown the power of the CU20 unit it is very important to demount the USB stick from the LUNIX system by a additional pushing the "Pause" button.**

**After the very last scan you have to push at third time ! The lights will alternate just like a "traffic light" and show that the stick is dismounted form the operating system.**

**If this action is not done, the last scan will not be completed and cannot be used and reloaded from the stick.**

**Interrupting a scan:**

A measuring procedure can be interrupted with the "Pause/Reject" button and continued by pushing the "Start/Continue" button. When the measuring procedure is interrupted, the "measure" LED goes out, and the "Pause/Finish" LED lights up.

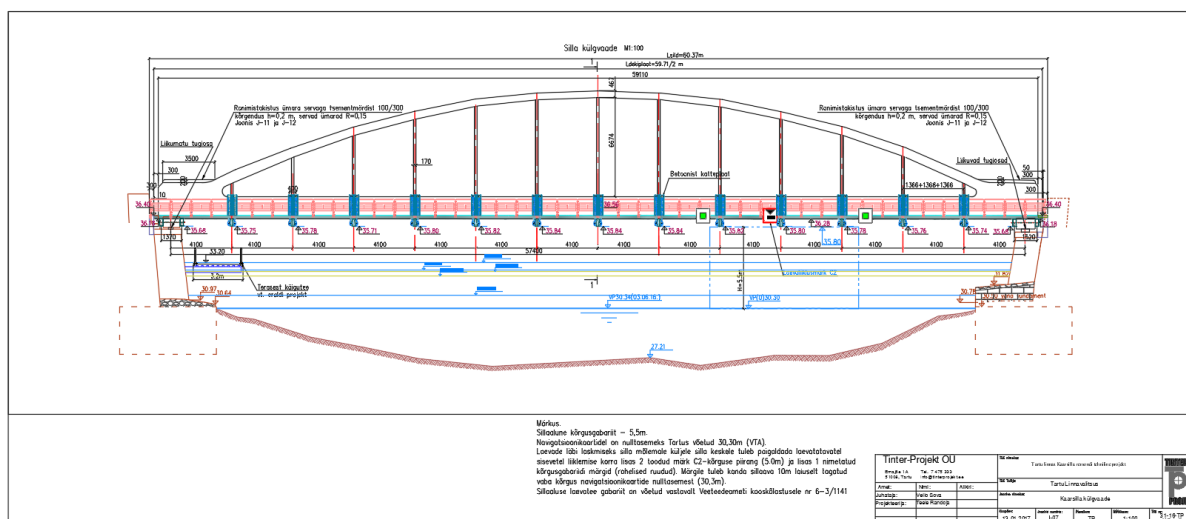
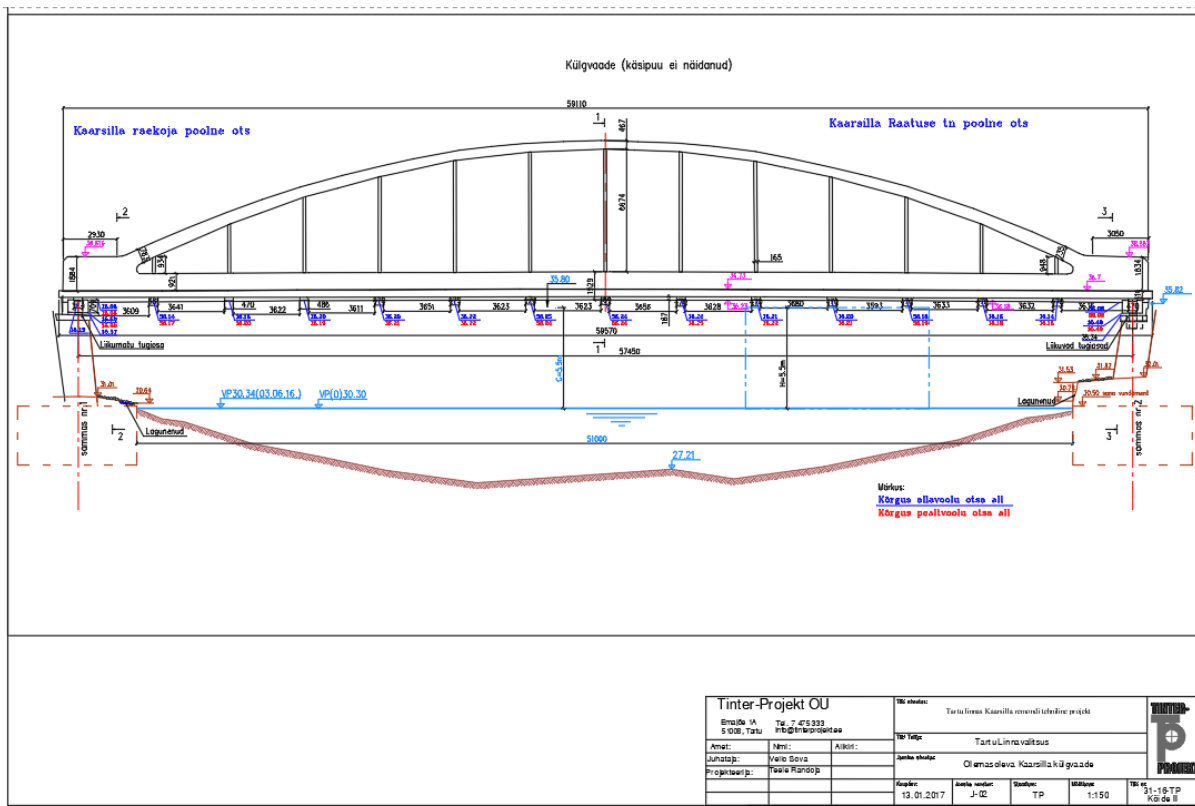
When a measurement has been interrupted, it can be discarded by another push on the "Pause/Reject" button. In this case, the data are not saved. The measuring head turns back to its initial position. After the "Ready" LED has lighted up, a new measurement can be started.

**Error handling:**

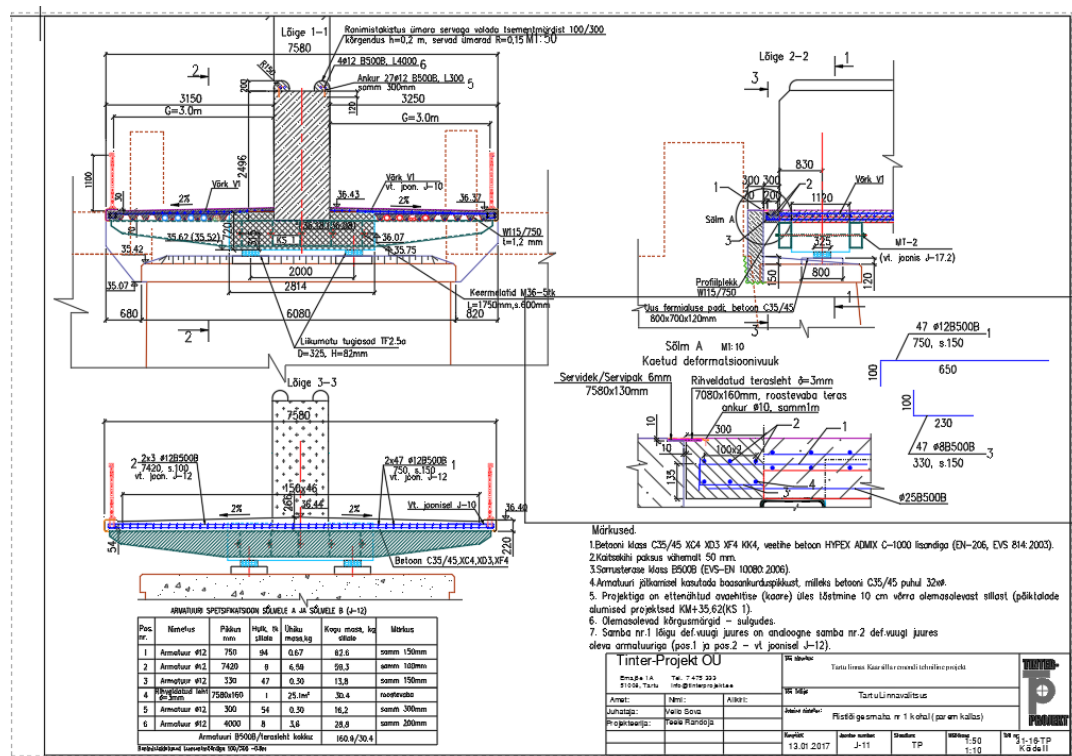
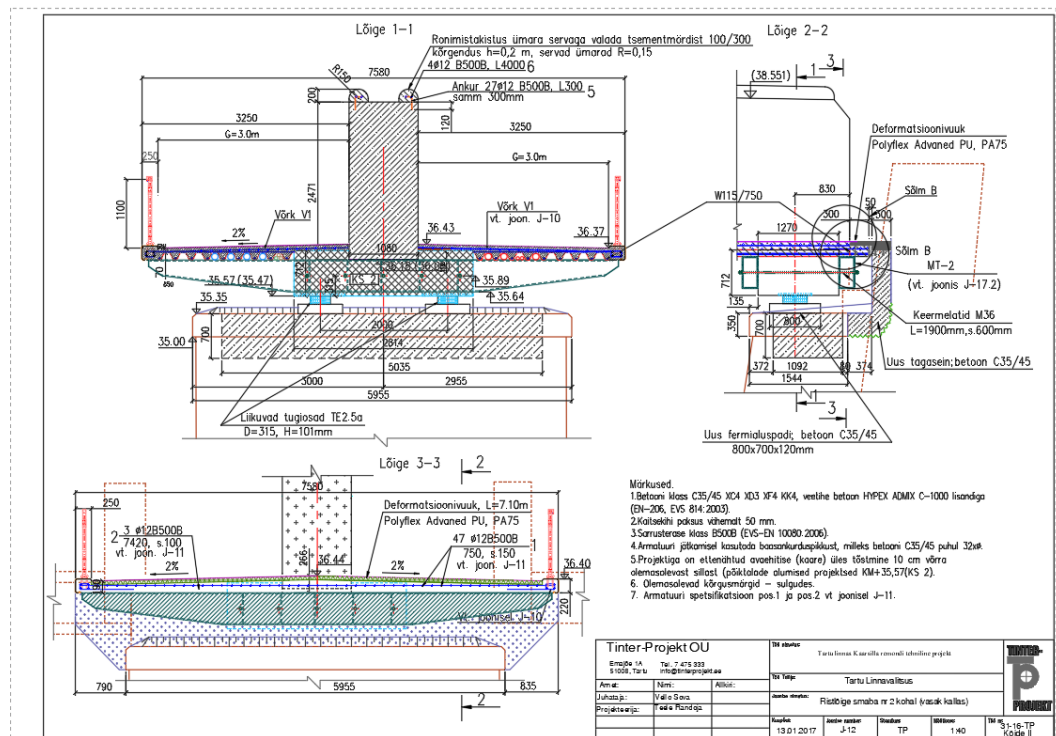
If an error appears (transmission error, missing USB stick, not enough memory on the stick), the red „Error“ LED will blink, and the buzzer will sound (on/off).

The system has to be stopped by pressing the power button.

## Lisa 4 Kaarsilla külgvaade



## Lisa 5 Kaarsilla ristlõiged



## **Lihtlitsents**

### **Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Kristi Ruul,  
(sünnipäev pp/kuu/aa 19.09.1996)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Trimble CX laserskanneri efektiivsuse ja täpsuse analüüs, mille juhendaja on lektor Kristina Türk ning kaasjuhendaja dotsent Harli Jürgenson,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

\_\_\_\_\_

allkiri

Tartu, 27.05.2019

---

### **Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)